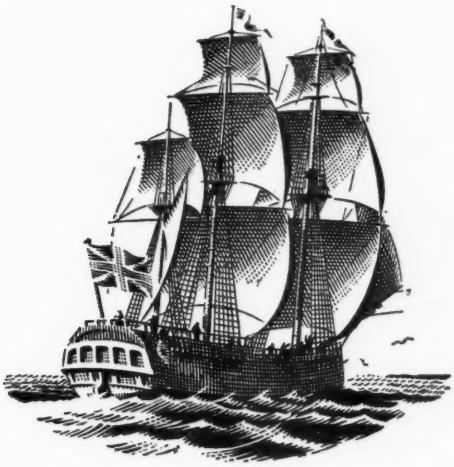
ENDEAVOUR

Revue trimestrielle, publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain



VOLUME XVIII · 1959

LISTE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

ABRAHAM, E. P.: Les antibiotiques en microbiologie. 212.
AMBARTSUMYAN, V. A.: Les associations stellaires. 45.
AMOROSO, E. C.: *Voir* AUSTIN, C. R. et AMOROSO, E. C.
ANDRADE, E. N. DA C.: Doppler et l'effet Doppler. 14.
ARTICLE PARTICULIER
La science en Israël. 211.

ARTICLES DE TÊTE
L'Année Géophysique Internationale a pris fin. 3.
Svante Arrhenius (1859–1927). 59.
L'exploration de l'espace. 115.
Le centenaire de la spectrochimie. 171.

ATZ, James W. et PICKFORD, Grace E.: L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture. 125.
AUSTIN, C. R. et AMOROSO, E. C.: L'œuf de mammifère. 130.
BARRY, J. M.: La biochimie de la glande mammaire. 173.
FRASER, F. C. et PURVES, P. E.: L'audition chez les cétacés. 93.
HALL, E. T.: L'analyse chimique par spectroscopie de fluorescence des rayons X. 83.
HUBBARD, C. E.: Le bicentenaire du Jardin Botanique de Kew. 156.
JONES, Sir Harold Spencer: Le Conseil International des Unions Scientifiques. 88.
JUNIPER, B. E.: La surface des plantes. 20.
KETTLEWELL, H. B. D.: Les adaptations des insectes brésiliens. 200.
KING, H. C.: Le planétarium. 35.
LAUGHTON, A. S.: Photographie du fond de l'océan. 178.
LEHMANN, I.: La structure interne de la Terre révélée par les séismes. 99.
LUNDEGÅRDH, H.: Méthode spectrophotométrique pour l'étude des enzymes respiratoires dans la matière vivante. 191.
MALAN, D. J.: La foudre. 61.
MCKIE, Douglas: La théorie du phlogistique. 144.
OPDYKE, N. D. et RUNCORN, S. K.: Le paléomagnétisme et les directions des vents aux époques anciennes. 26.
PICKFORD, Grace E.: *Voir* ATZ, James W. et PICKFORD, Grace E.
PURVES, P. E.: *Voir* FRASER, F. C. et PURVES, P. E.
RAISTRICK, A.: Les Darby de Coalbrookdale. 186.
RUNCORN, S. K.: *Voir* OPDYKE, N. D. et RUNCORN, S. K.
SEABORG, Glenn T.: Les éléments transuraniens. 5.
SMEATON, W. A.: A. F. de Fourcroy et la théorie antiphlogistique. 70.
STEERS, J. A.: Marais salins. 75.
SUTTON, J.: Roches cristallines et chronologie géologique. 148.
VAN DE HULST, H. C.: La structure galactique et la raie radioélectrique de 21 centimètres. 117.

REVUE DES LIVRES

AMBARTSUMYAN, V. A., directeur de publication: Theoretical Astrophysics. (Traduit du russe par J. B. Sykes.) 52.
BAER, Jean G.: Cours d'anatomie comparée des vertébrés. 222.
BARNETT, S. A., directeur de publication: A Century of Darwin. 53.
BASOLO, F. et PEARSON, R. G.: Mechanisms of Inorganic Reactions. 52.
BERKNER, L. V., publié par: Rockets and Satellites. 162.
BEYER, H.: Lehrbuch der organischen Chemie (5e édition). 106.
BOAS, Marie: Robert Boyle and Seventeenth-century Chemistry. 222.
BONNER, J. T.: The Evolution of Development. 107.
BRAESTRUP, C. B. et WYCKOFF, H. O.: Radiation Protection. 164.
Brevets d'invention français, 1791–1902: Un siècle de progrès technique. 110.
BRISTOWE, W. S.: The World of Spiders. 222.
British Medical Bulletin, Vol. XIV, No. 2, Causation of Cancer. 109. Vol. XV, No. 1, Symposium on Haematology. 164.
BROWN, G. I.: An Introduction to Electronic Theories of Organic Chemistry. 106.
CHALLENGER, F.: Aspects of the Organic Chemistry of Sulphur. 220.
CLOUDSLEY-THOMPSON, J. L.: Spiders, Scorpions, Centipedes and Mites. The Ecology and Natural History of Woodlice, «Myriapods» and Arachnids. 109.
CONANT, J. B., publié par: Harvard Case Histories in Experimental Science, Vols. I et II. 52.
COOK, A. H., publié par: The Chemistry and Biology of Yeasts. 163.
D'ARCY THOMPSON, Ruth: D'Arcy Wentworth Thompson, the Scholar-naturalist, 1860–1948. 110.
DAVIES, M., EDDISON, R. T. et PAGE, T., directeurs de publication: Proceedings of the First International Conference on Operational Research, Oxford, 1957. 106.
DIXON, M. et WEBB, E. C.: Enzymes. 108.
DOREMUS, R. H., ROBERTS, B. W. et TURNBULL, D., publié par: Growth and Perfection of Crystals. 221.
DUGAS, René: A History of Mechanics. (Traduit du français par J. R. Maddox.) 54.
EISENBUD, L. et WIGNER, E. P.: Nuclear Structure. 161.
FORBES, R. J.: Man the Maker: A History of Technology and Engineering. 223.
FOX, J., publié par: Proceedings of the Symposium on Electronic Waveguides, New York, April 1958. 164.
GRASSÉ, P.-P., publié par: Traité de zoologie: Anatomie, systématique, biologie, Vol. XIII. 221.
GRUMBACH, A. et KIKUTH, W., publié par: Die Infektionskrankheiten des Menschen und ihre Erreger, Vols. I et II. 109.
HABER, L. F.: The Chemical Industry during the Nineteenth Century. 54.
HANSEN, M., en collaboration avec ANDERKO, K.: Constitution of Binary Alloys (2e édition). 165.
HANSON, N. R.: Patterns of Discovery. 165.
HAW, R. C.: The Conservation of Natural Resources. 165.
HUDSON, J. P., directeur de publication: Control of the Plant Environment. 53.
HUGHES, Arthur: A History of Cytology. 223.
KEEVIL, J. J.: Medicine and the Navy, 1200–1900, Vol. II, 1649–1714. 110.
LAIDLER, K. J.: The Chemical Kinetics of Enzyme Action. 108.
LANDAU, L. D. et LIFSHITZ, E. M.: Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory. (Traduit du russe par J. B. Sykes et J. S. Bell.) 161.
LINNAEUS, Carl: Species Plantarum. A Facsimile. Vols. I et II. 223.
LOVELL, A. C. B.: The Individual and the Universe. 161.
MASSEY, H. S. W. et BOYD, R. L. F.: The Upper Atmosphere. 162.
MERRIMAN, A. D.: A Dictionary of Metallurgy. 165.
MILLOT, J. et ANTHONY, J.: Anatomie de *Latimeria chalumnae*, Vol. I. Squelette et muscles. 163.
NEUBERGER, A., publié par: Symposium on Protein Structure. 108.
Nuclear Explosions and their Effects. 164.
O'CONNELL, D. J. K.: The Green Flash and Other Low Sun Phenomena (2e édition). 163.
PACKER, J. et VAUGHAN, J.: A Modern Approach to Organic Chemistry. 107.
PASCAL, P., directeur de publication: Nouveau traité de chimie minérale, Vols. III et IV. 162.
PIVETEAU, Jean: Traité de paléontologie, Vol. VII, Primates: paléontologie humaine. 52.
POYNTER, F. N. L., publié par: The History and Philosophy of Knowledge of the Brain and its Functions. 223.
RAVEN, C. P.: Morphogenesis: The Analysis of Molluscan Development. 109.
RAWER, K.: The Ionosphere. 107.
SANTILLANA, Giorgio DE: The Crime of Galileo. 54.
SCOTT, J. F.: A History of Mathematics. 54.

SCURTI, J. Ceruti: Le malattie delle Piante. Partie I, Malattie da virus e da parassiti vegetali. 165.
SEGRÈ, E., directeur de publication: Annual Review of Nuclear Science, Vol. VIII. 221.
SEMENOV, N. N.: Some Problems of Chemical Kinetics and Reactivity, Vol. I. (Traduit du russe par J. E. S. Bradley.) 162.
SHOPPEE, C. W.: Chemistry of the Steroids. 52.
SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. et WILLIAMS, Trevor I., publié par: A History of Technology, Vol. IV. The Industrial Revolution, c. 1750–c. 1850. 166.
SMITH, I., directeur de publication: Chromatographic Techniques: Clinical and Biochemical Applications. 106.
TAYLOR, James: Solid Propellent and Exothermic Compositions. 222.
THIMANN, K. V., directeur de publication, aidé par CRITCHFIELD, W. B. et ZIMMERMANN, M. H.: The Physiology of Forest Trees. 108.
THORNDIKE, Lynn: A History of Magic and Experimental Science, Vols. VII et VIII. The Seventeenth Century. 110.
VOGEL, A. I.: Elementary Practical Organic Chemistry. 106.
WILSON, J. G. et WOUTHUYSEN, S. A., publié par: Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics, Vol. IV. 161.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, C. M., publié par. (A Ciba Foundation Symposium.) Medical Biology and Etruscan Origins. 163.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, Maeve, publié par. (Ciba Foundation Symposia.) The Chemistry and Biology of Mucopolysaccharides. 53. Biosynthesis of Terpenes and Sterols. 221.

TABLE DES MATIÈRES

Les articles sont ici disposés par ordre numérique de sujets, d'après le système de Classification Décimale Universelle. Edition abrégée trilingue (FID publ. 277), British Standards Institution, Londres. Voir à la page IV le répertoire alphabétique.

06 INSTITUTS. SOCIÉTÉS

061.22(100):5 Le Conseil International des Unions Scientifiques. JONES, Sir Harold Spencer. 88.
061.6 :53/59(569.4) La science en Israël. 211.

5 SCIENCES GÉNÉRALES

5:061.22(100) Le Conseil International des Unions Scientifiques. JONES, Sir Harold Spencer. 88.
53/59 :061.6(569.4) La science en Israël. 211.

52 ASTRONOMIE

523.28:93 Le planétarium. KING, H. C. 35.
523.851 Les associations stellaires. AMBARTSUMYAN, V. A. 45.
523.872 :621.396.9 La structure galactique et la raie radio-électrique de 21 centimètres. VAN DE HULST, H. C. 117.

53 PHYSIQUE

530.1 :534.22:92 Doppler et l'effet Doppler. ANDRADE, E. N. DA C. 14.
534.22:92:530.1 *Idem.*
535.372:543.426 L'analyse chimique par spectroscopie de fluorescence des rayons X. HALL, E. T. 83.

54 CHIMIE

541.13 :92:070.432 Svante Arrhenius (1859–1927) (Article de Tête). 59.
541.2(091):92 A. F. de Fourcroy et la théorie antiphlogistique. SMEATON, W. A. 70.
541.2(091.2):93 La théorie du phlogistique. McKIE, Douglas. 144.
543.42 :93:070.432 Le centenaire de la spectrochimie (Article de Tête). 171.
543.42.062 :577.158.1 :581.12 Méthode spectrophotométrique pour l'étude des enzymes respiratoires dans la matière vivante. LUNDEGÅRDH, H. 191.
543.426:535.372 L'analyse chimique par spectroscopie de fluorescence des rayons X. HALL, E. T. 83.
546.799 Les éléments transuraniens. SEABORG, Glenn T. 5.

55 GÉOLOGIE. GÉOPHYSIQUE

550(100) :070.432 L'Année Géophysique Internationale a pris fin (Article de Tête). 3.
550.341:551.16 La structure interne de la Terre révélée par les séismes. LEHMANN, I. 99.
550.384 :552.1:551.8 Le paléomagnétisme et les directions des vents aux époques anciennes. OPDYKE, N. D. et RUNCORN, S. K. 26.
551.16:550.341 La structure interne de la Terre révélée par les séismes. LEHMANN, I. 99.
551.462.018 :778.3 :591.9(26.03) Photographie du fond de l'océan. LAUGHTON, A. S. 178.
551.481.26 :581.526.522 Marais salins. STEERS, J. A. 75.
551.594.2 La foudre. MALAN, D. J. 61.
551.8:550.384 :552.1 Le paléomagnétisme et les directions des vents aux époques anciennes. OPDYKE, N. D. et RUNCORN, S. K. 26.
552.1:550.384 :551.8 *Idem.*
552.11 Roches cristallines et chronologie géologique. SUTTON, J. 148.

57 BIOLOGIE

575.4:595.7 :591.155 Les adaptations des insectes brésiliens. KETTLEWELL, H. B. D. 200.
576.312.2 :577.11 :615.779 Les antibiotiques en microbiologie. ABRAHAM, E. P. 212.
577.11:615.799 :576.312.2 *Idem.*
577.15:591.146 La biochimie de la glande mammaire. BARRY, J. M. 173.
577.158.1 :543.42.062 :581.12 Méthode spectrophotométrique pour l'étude des enzymes respiratoires dans la matière vivante. LUNDEGÅRDH, H. 191.
577.18 :591.481.2 :639.3 L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture. ATZ, James W. et PICKFORD, Grace E. 125.

58 BOTANIQUE

58.006(421.9) Le bicentenaire du Jardin Botanique de Kew. HUBBARD, C. E. 156.
581.111.3 :581.451 La surface des plantes. JUNIPER, B. E. 20.
581.12 :577.158.1 :543.42.062 Méthode spectrophotométrique pour l'étude des enzymes respiratoires dans la matière vivante. LUNDEGÅRDH, H. 191.
581.451 :581.111.3 La surface des plantes. JUNIPER, B. E. 20.
581.526.522 :551.481.26 Marais salins. STEERS, J. A. 75.

59 ZOOLOGIE

591.146:577.15 La biochimie de la glande mammaire. BARRY, J. M. 173.
591.155 :595.7:575.4 Les adaptations des insectes brésiliens. KETTLEWELL, H. B. D. 200.
591.465.1 L'œuf de mammifère. AUSTIN, C. R. et AMOROSO, E. C. 130.
591.481.2 :577.18:639.3 L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture. ATZ, James W. et PICKFORD, Grace E. 125.
591.485:599.5 L'audition chez les cétacés. FRASER, F. C. et PURVES, P. E. 93.
591.9(26.03) :778.3 :551.462.018 Photographie du fond de l'océan. LAUGHTON, A. S. 178.
595.7:575.4 :591.155 Les adaptations des insectes brésiliens. KETTLEWELL, H. B. D. 200.
599.5:591.485 L'audition chez les cétacés. FRASER F. C. et PURVES, P. E. 93.

61 MÉDECINE

615.779:577.11 :576.312.2 Les antibiotiques en microbiologie. ABRAHAM, E. P. 212.

62 ART DE L'INGÉNIEUR

621.396.9 :523.872 La structure galactique et la raie radio-électrique de 21 centimètres. VAN DE HULST, H. C. 117.
629.19:070.432 L'exploration de l'espace (Article de Tête). 115.

63 AGRICULTURE. PÊCHE

639.3:577.18 :591.481.2 L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture. ATZ, James W. et PICKFORD, Grace E. 125.

66 MÉTALLURGIE

669.162.16 :92(424) Les Darby de Coalbrookdale. RAISTRICK, A. 186.

77 PHOTOGRAPHIE

778.3 :591.9(26.03) :551.462.018 Photographie du fond de l'océan. LAUGHTON, A. S. 178.

9 BIOGRAPHIE. HISTOIRE DE LA SCIENCE

92:534.22:530.1 Doppler et l'effet Doppler. ANDRADE, E. N. DA C. 14.
92:541.13 :070.432 Svante Arrhenius (1859–1927) (Article de Tête). 59.
92:541.2(091) A. F. de Fourcroy et la théorie antiphlogistique. SMEATON, W. A. 70.
92(424) :669.162.16 Les Darby de Coalbrookdale. RAISTRICK, A. 186.
93:523.28 Le planétarium. KING, H. C. 35.
93:541.2(091.2) La théorie du phlogistique. MCKIE, Douglas. 144.
93:543.42 :070.432 Le centenaire de la spectrochimie (Article de Tête). 171.

RÉPERTOIRE ALPHABÉTIQUE

Acoustique 534
Analyse chimique
  Méthodes rœntgénographiques 543.4
Année Géophysique Internationale 550
Antibiotiques 615.779
Arrhenius, Svante 92
Associations stellaires 523.851
Astronautique 629.19
Astronomie 523
Audition des cétacés 591.485

Bactériologie 576
Biochimie 577.1
Biographie 92
Biologie 57/59
Botanique 58
  Végétation des marais 581.5

Cétacés, audition des 599.5
Chimiothérapeutique 615.7
Classification Périodique 546
Conseil International des Unions Scientifiques 061.22
Cytologie 576.3

Darby, fondeurs en fer 92
Directions des vents 551
Doppler, Christian 92

Effet Doppler 534.22
Electricité atmosphérique 551.594
Eléments transuraniens 546.799
Embryologie 591.4
Entomologie 595.7
Enzymes respiratoires 581.12
Exploration de l'espace 629.19

Feuilles
  Ultrastructure 581.451
Fluorescence des rayons X 535.372
Foudre 551.594.2
Fourcroy, A. F. de 92

Galaxies 523.8
Géologie 55
Géophysique 55
Glande mammaire
  Biochimie 591.146

Histoire des sciences 93
Hormones hypophysaires 577.18
Hypophyse 591.481.2

Insectes
  Adaptations 595.7
Institut Weizmann 061.6
Israël
  Progrès scientifique 53/59

Jardin Botanique de Kew 58.006

Lactation
  Biochimie 591.146

Magnétisation des roches 552.1
Magnétisme terrestre 550.38
Mammifères
  Œuf 591.465.1
Marais salins 551.481.26
Médecine 61
Métallurgie
  Histoire 669
Microbiologie 576.3
Mimétisme des animaux 591.155

Océanographie 551.461
Œuf de mammifère 591.465

Paléomagnétisme 551.8
Palétuviers 581.526.4
Pétrologie 552
Phlogistique 54
Photographie
  Fond de l'océan 778.3
Physiologie
  Oreille 591.485
Physique 53
Pisciculture 639.3
Planétariums 523.28

Radio-astronomie 621.396.9
Radiocommunication 621.396
Raie de 21 cm 523.872
Respiration végétale 577.158
Roches cristallines 552.11

Séismes 550.34
Sidérurgie 669.162.6
Spectrochimie 543
Spectrophotométrie 543.52
Spectroscopie de fluorescence des rayons X 537.531
Stratigraphie 552
Structure galactique 523.872
Surfaces des plantes 581.113

Terre
  Structure interne 551.16
Théorie de l'évolution 575.4

Zoologie 59
  Faune abyssale 591.9

Imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revue trimestrielle, publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME XVIII Janvier 1959 NUMÉRO 69

SOMMAIRE

550(100):070.432
Article de Tête: L'Année Géophysique Internationale a pris fin 3

546.799
Les éléments transuraniens — GLENN T. SEABORG, A.B., Ph.D., D.Sc., LL.D. 5

530.1:534.22:92
Doppler et l'effet Doppler — E. N. DA C. ANDRADE, D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S. 14

581.111.3:581.451
La surface des plantes — B. E. JUNIPER, B.A. 20

551.8:550.384:552.1
Le paléomagnétisme et les directions des vents aux époques anciennes — N. D. OPDYKE, B.A., Ph.D., et S. K. RUNCORN, M.A., Ph.D., F.Inst.P. 26

523.28:93
Le planétarium — H. C. KING, M.Sc., Ph.D. 35

523.851
Les associations stellaires — V. A. AMBARTSUMYAN 45

049.3
Revue des livres 52

Brèves notices bibliographiques 55

Notes biographiques sur les collaborateurs 56

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

L'Année Géophysique Internationale a pris fin

Le 31 décembre 1958 a été le terme de la période d'observations physiques concertées du Soleil et de la Terre, appelée Année Géophysique Internationale. Il a fallu quatre années pour la préparer, et c'est la phase des observations qui vient de prendre fin. Il faudra encore plusieurs années pour rassembler, échanger, publier, dépouiller, interpréter et critiquer ces observations. Il ne faut pas cependant conclure que les trois phases — organisation, observations, exploitation des données — sont bien nettement délimitées. Les observations commencèrent en partie avant le 1er juillet 1957 et certaines se poursuivent. De même, le rassemblement et l'étude des données ont commencé dès le début de l'Année.

Plus de 60 nations ont participé au projet, qui s'est révélé la plus vaste entreprise de recherches collectives réalisée jusqu'ici, et dont l'ampleur acquise a étonné ses promoteurs eux-mêmes. C'est l'un de ceux-ci, Lloyd V. Berkner, qui en 1950 proposa qu'une troisième Année Polaire Internationale ait lieu en 1957–58 pour faire suite aux deux précédentes, celles de 1882–83 et 1932–33.

L'organisation en a été remarquablement simple: minimum de protocole; personnel et frais de l'administration centrale notablement réduits, considérant l'importance de l'entreprise. Ce sont les organismes scientifiques nationaux qui ont fait le gros du travail: ils ont mis sur pied les comités qui ont dressé les programmes nationaux suivant des plans établis à l'échelon international; ils ont amené leurs gouvernements à comprendre la portée et la valeur de ces plans, s'assurant ainsi les pouvoirs et les fonds nécessaires pour la participation de leurs pays; ils ont amené la presse à s'intéresser à l'A.G.I. et à s'employer à la faire connaître au public dans le monde entier.

On savait dès 1950 qu'au cours des années 1957 et 1958 les taches solaires atteindraient un maximum. L'activité solaire durant ces quatres années a été en effet la plus forte qui ait été enregistrée au cours de plus de deux siècles d'évaluations quantitatives exactes. Les éruptions solaires, les aurores, les tempêtes magnétiques et ionosphériques — qui ont une influence sur les rayons cosmiques également — ont en conséquence revêtu un intérêt spécial. Il est impossible d'exposer ici, même à grands traits, les nombreux résultats scientifiques obtenus.

Les réalisations de l'A.G.I. ont comporté deux éléments intéressants: les observations en région antarctique et le lancement des satellites artificiels. Nos connaissances du grand continent austral se sont décuplées; les observations y seront d'ailleurs poursuivies sans interruption, bien qu'à échelle réduite, à partir de 1959. Au début de l'A.G.I. les satellites étaient prévus, il est vrai, mais donnaient encore lieu à beaucoup d'incertitudes. Le lancement du premier satellite russe le 4 octobre 1957 ouvrit une ère nouvelle dans l'histoire de l'humanité, et jusqu'au moment où s'est tenue à Moscou la dernière session du Comité Spécial de l'A.G.I. (C.S.A.G.I.) sept satellites ont été lancés: trois par la Russie et quatre par les Etats-Unis. Ils ont déjà apporté des résultats importants, mais il en reste encore la plus grande partie à dépouiller et publier. Ils ont démontré que l'atmosphère terrestre s'étend plus loin qu'on ne croyait dans l'espace et que, au-dessus de quelques centaines de kilomètres, il existe une couche contenant des électrons dont l'énergie est considérable, bien qu'inférieure de beaucoup à celle des rayons cosmiques.

L'A.G.I. a servi de trait d'union entre peuples divisés par de graves désaccords politiques; elle a amené les savants de l'Est et de l'Ouest à se rencontrer et leur collaboration a été des plus cordiales. Les difficultés politiques n'ont d'ailleurs en aucune façon affecté son organisation: les corps scientifiques de tous les pays ont été invités à y participer, sans distinction de race, de religion, de couleur ou de régime. Parmi les rares abstentions — très regrettables, d'ailleurs — une seule était due à des considérations politiques.

L'A.G.I. a aussi rapproché la physique du globe de celle du Soleil: leurs aspects internationaux sont depuis longtemps étudiés au sein des unions scientifiques internationales, notamment celles de Géodésie et Géophysique, d'Astronomie, de Science radioélectrique, de Physique pure et appliquée et de Géographie, et le Conseil International des Unions Scientifiques (C.I.U.S.), composé de représentants des unions et des organismes scientifiques nationaux s'est chargé des questions d'intérêt commun. Le C.S.A.G.I. représente le Conseil International et les Unions, et non les pays auxquels celles-ci appartiennent. Auprès du C.S.A.G.I. il y a un Conseil Consultatif composé

de représentants des nations participantes (un par nation). La collaboration entre les spécialistes des différentes sections de la physique du globe ou de la physique solaire a sans doute été active dans le passé, mais elle n'avait jamais été aussi fructueuse, étroite et étendue que pendant l'A.G.I.

Dans l'exécution de sa part acceptée des travaux, chaque nation a accordé sa coopération sans restriction aucune. Chacun a contribué sans marchander, dans la mesure de ses moyens et à ses propres frais. Il y eut même des exemples d'aide mutuelle. Les observations effectuées seront utilisées selon le même principe libéral: les données obtenues seront mises à la disposition de tous les savants quelle qu'ait été l'importance de la contribution de leurs pays.

Le budget de l'organisation centrale — secrétariat, réunions, publications, etc. — a été constitué de plusieurs manières. Au début le Conseil International des Unions Scientifiques se chargea seul des frais. Puis l'Unesco intervint généreusement, tant financièrement qu'autrement. Par la suite, les comités des pays participants se sont, de leur propre mouvement, chargés de remplir la caisse du C.S.A.G.I. A ces apports vinrent s'ajouter les services personnels d'une foule de savants, de leurs secrétaires et d'autres assistants travaillant parfois dans des conditions difficiles: chaleur tropicale, froid polaire ou mers déchaînées. Des hommes et des femmes, dans le monde entier, ont mis une loyauté et un enthousiasme dépassant la commune mesure au service de l'A.G.I., mus notamment par le désir d'acquérir des connaissances et d'entrer en communion avec toutes les races humaines dans une œuvre pacifique entreprise pour le bien commun.

De tels sentiments joints à un esprit d'émulation amical, ont caractérisé l'étude d'une foule de problèmes soulevés par l'A.G.I. Les intéressés ont examiné à nouveau les phénomènes physiques compliqués de notre planète et du Soleil. Pour aider à ces études ils ont inventé de nouveaux instruments et un nouveau matériel d'observation, conçus pour être utilisé sur terre, en mer et dans l'air, ce qui parfois soulevait des problèmes d'organisation assez ardus. On a créé de nouveaux établissements, notamment des centres de prévision de perturbations terrestres provoquées par les tempêtes solaires, et des Centres Mondiaux de Données pour le rassemblement des résultats d'observations et leur diffusion sur demande dans le monde entier. Un fonctionnaire spécial, le Coordonnateur, a été nommé en 1956 pour présider à l'organisation de ces centres; il aura terminé sa tâche à la fin de l'année courante, mais les Centres eux-mêmes continueront à fonctionner. Le Centre terrestre de prévision des phénomènes solaires et son réseau complexe de communications a été dirigé par un des quatorze Rapporteurs du C.S.A.G.I., chacun ayant été chargé d'un secteur du programme.

C'est ainsi que l'on a confié à un Rapporteur chacun des douze secteurs principaux suivants: Météorologie, magnétisme terrestre, aurores et luminosité du ciel nocturne, ionosphère, activité solaire, rayons cosmiques, latitude et longitude, océanographie, glaciologie, séismologie, gravimétrie et rayonnement nucléaire. Le quatorzième s'est occupé spécialement des fusées et des satellites qui ont intéressé plusieurs des douze secteurs ci-dessus. Les Rapporteurs poursuivront leurs travaux au cours de la troisième phase du projet.

Au mois d'août 1958 le C.S.A.G.I. s'est réuni à Moscou pour approuver cette troisième phase. Il y eut des échanges de vues au sujet des observations déjà effectuées et de l'organisation du rassemblement des données, leur publication et leur interprétation. Au cours de cette réunion le comité russe proposa la prolongation de l'A.G.I. jusqu'à la fin de 1959, faisant ressortir que les frais d'installations pour les différentes observations ayant déjà été encourus, l'apport de données qui résulterait d'une année additionnelle de fonctionnement compenserait largement la dépense relativement minime, surtout dans le cas des stations qui auraient débuté tardivement. Les Russes rallièrent les suffrages en présentant une motion à l'effet que le Conseil International des Unions Scientifiques soit chargé de donner une suite aux aspects intéressants de l'A.G.I. dès la fin de celle-ci. Le C.S.A.G.I. a aussi approuvé le projet de continuer le programme de l'A.G.I. dans la mesure des possibilités des Comités Nationaux, sous le nouveau titre de Coopération Géophysique Internationale 1959. Ainsi le programme et les établissements de l'A.G.I. auront encore au moins une année d'existence après la période d'observations. Au cours de cette année et des suivantes se fera le dépouillement de la somme la plus considérable de données scientifiques qui ait jamais été accumulée.

Les éléments transuraniens

par GLENN T. SEABORG

Il y a moins de vingt ans on ne connaissait pas d'élément transuranien; aujourd'hui il y en a dix, tous essentiellement synthétiques, l'un préparé à échelle assez grande, et l'on attend incessamment l'arrivée d'autres. Pour la préparation et l'identification de ces éléments il a fallu inventer des techniques de bombardement et des méthodes d'analyse adaptées à de petites quantités d'éléments éphémères. Un chercheur spécialisé dans ce domaine depuis des années évoque pour nous ces techniques et les résultats qu'elles donnent.

L'étude des éléments transuraniens constitue actuellement un secteur de la science. Née il y a moins de vingt ans, elle est nettement appelée à un développement considérable. La création d'éléments nouveaux par transmutation dont rêvaient les alchimistes se trouve ainsi réalisée. Ces éléments nouveaux ont joué un rôle capital dans la renaissance récente de la chimie inorganique. Une extension de dix pour cent du nombre des éléments chimiques est un progrès si important qu'on pouvait pressentir l'ampleur de son apport aux bases mêmes de la connaissance scientifique, notamment en chimie et en physique.

La chimie et la physique des éléments transuraniens les plus anciens ont déjà pris une ampleur considérable et du plus haut intérêt. Le neptunium a un isotope dont la vie est suffisamment longue pour nous permettre de le manipuler sans danger dans des laboratoires ordinaires en prenant quelques précautions; la longévité analogue d'isotopes du plutonium et du curium devrait permettre l'étude approfondie de ces éléments lorsqu'ils seront plus accessibles dans le monde entier. Parmi les éléments transuraniens le plutonium est particulièrement intéressant. Les propriétés nucléaires de son isotope sont telles qu'il était destiné à jouer un rôle capital dans l'histoire de l'humanité. C'est dans le plus grand secret que le plutonium fut découvert pendant la dernière guerre et des méthodes élaborées pour sa fabrication. C'était le premier élément synthétique vu par l'homme et le premier exemple de production industrielle d'un élément par transmutation. Les propriétés chimiques et métallurgiques du plutonium sont des plus inattendues. Par exemple, il a quatre états d'oxydation qui peuvent coexister à des concentrations appréciables en solution aqueuse. Entre la température ordinaire et son point de fusion le métal présente six formes allotropiques dont certaines ont des propriétés inconnues chez d'autres métaux. Vu son rayonnement alpha et ses effets physiologiques l'isotope fissile Pu^{239} est un poison des plus dangereux pour l'homme. Sa découverte fut annoncée au monde par la bombe atomique de Nagasaki. Il va de soi que le plutonium aura un avenir important dans l'énergie atomique. L'isotope fissile Pu^{239} transforme sa source, l'isotope U^{238}, qui n'est pas fissile avec des neutrons lents, en un combustible nucléaire potentiel. L'U^{238} fertile est «brûlé» en passant par le stade intermédiaire fissile de Pu^{239}.

La découverte du premier élément transuranien avait été précédée d'un faux départ six ans auparavant. Lorsque Enrico Fermi et ses collaborateurs bombardèrent l'uranium avec des neutrons lents pour la première fois en 1934 ils constatèrent qu'ils avaient produit toute une gamme d'espèces radioactives artificielles, et d'innombrables substances de ce type furent observées dans les années qui suivirent. A l'époque on pensait que la plupart d'entre elles étaient des éléments transuraniens, mais l'examen chimique révéla l'existence du processus de fission. Des travaux ultérieurs ont confirmé que presque tous ces corps radioactifs étaient en réalité des produits de la fission de l'uranium et non des éléments transuraniens. En 1940 E. M. McMillan et P. H. Abelson découvrirent le premier élément transuranien. C'était l'élément 93, le neptunium. Depuis lors on a synthétisé et identifié plusieurs de ces éléments: le plutonium (94), l'américium (95), le curium (96), le berkélium (97), le californium (98), l'einsteinium (99), le fermium (100), le mendélévium (101) et l'élément 102. Les isotopes des éléments allant jusqu'à l'einsteinium ont une vie assez longue pour permettre d'en isoler des quantités macroscopiques, c'est-à-dire pondérables; ceci ne paraît plus vrai au-delà de l'einsteinium.

Dans l'ensemble les éléments transuraniens ont une origine synthétique et doivent être préparés

par la transmutation à partir de l'uranium. Toutefois, deux d'entre eux, le neptunium et le plutonium, existent à l'état de traces dans les minerais d'uranium, résultant de l'action des neutrons présents. L'étude de ces neuf nouveaux éléments a enrichi fortement la partie descriptive de la chimie inorganique moderne. En effet, leurs propriétés chimiques présentent de la richesse et de la diversité; ils donnent des composés inhabituels et dans certains cas manifestent une complexité extraordinaire en solution. Nous comprenons maintenant quels liens les unissent entre eux et leur parenté avec d'autres éléments.

POSITION DANS LA TABLE DE MENDÉLÉEV

Au cours des années on a changé d'avis plus d'une fois concernant la place qui revient aux éléments les plus lourds dans la classification périodique (tableau I). Jusqu'à la dernière guerre le thorium, le protoactinium et l'uranium étaient couramment placés juste au-dessous de l'hafnium, du tantale et du tungstène, qui sont les membres de la série de transition qui s'emplit d'électrons dans la couche 5d. Ce classement se justifiait par l'hypothèse que les trois éléments lourds appartenaient à la série de transition 6d. Après la publication du mémoire de N. Bohr sur l'atome nucléaire quantisé en 1913 on se demanda si l'on ne devait pas supposer l'existence d'une série de transition d'électrons 5d allant du thorium à l'élément 95 (inclusivement) avant de compléter la couche 6d. Quand on découvrit le neptunium, puis le plutonium, le cadre de la Classification Périodique était dépassé; l'accumulation des connaissances au sujet des premiers éléments transuraniens permit de reconnaître l'existence, dans cette région de la Table, de toute une famille de nouveaux éléments, certains connus, d'autres restant à découvrir.

Le fait que les éléments transuraniens appartiennent à une série de transition similaire aux terres rares (série du lanthane) facilite la prédiction des propriétés chimiques d'éléments transuraniens avant leur détection. Ce genre particulier de similitude reconnu par l'auteur en 1944 à partir des propriétés chimiques du neptunium et du plutonium fut la clé de la découverte des éléments 95 et 96 (américium et curium) et fut indispensable à la découverte des éléments transcuriens. Comme la plupart des éléments au-delà de l'actinium semblent appartenir au groupe actinide (nom choisi par analogie avec le groupe lanthanide), les éléments thorium, le protoactinium et l'uranium furent retirés des positions qu'ils occupaient dans la Classification avant 1939 et placés dans cette famille de transition; ainsi que nous le verrons les éléments 104, 105 et 106 remplaceront vraisemblablement le thorium, le protoactinium et l'uranium aux places vacantes. Voilà

TABLEAU I

1 H 1,0080																	2 He 4,003
3 Li 6,940	4 Be 9,013											5 B 10,82	6 C 12,011	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00	10 Ne 20,183
11 Na 22,991	12 Mg 24,32											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457	18 A 39,944
19 K 39,100	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,80
37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4	47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,91	54 Xe 131,30
55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La Voir série La	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 197,0	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 208,99	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra 226,03	89 Ac Voir série Ac	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)										

Série lanthanide	57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26	65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99
Série actinide	89 Ac 227,04	90 Th 232,05	91 Pa 231,05	92 U 238,04	93 Np 237,06	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 E	100 Fm	101 Mv	102	(103)

donc un résultat intéressant puisque les nouveaux venus ont modifié l'aspect de la Table, et que celle-ci a subi un changement bien des années après qu'elle semblait avoir pris sa forme définitive.

NEPTUNIUM

La découverte du premier élément transuranien, le neptunium, a résulté de l'étude du procédé de fission par McMillan. Sa méthode consistait en la mesure de l'énergie des deux fragments principaux de la fission de l'uranium induite par des neutrons. Il trouva que la réaction produisait en outre un autre produit radioactif, mais qu'il n'avait pas assez de recul pour s'échapper de la mince couche d'uranium en cours de fission. Il soupçonna qu'il s'agissait là d'un produit formé par la capture d'un neutron par l'uranium. Grâce à leur étude chimique, McMillan et Abelson purent établir que ce produit était un isotope de l'élément 93 (Np^{239}), provenant de la désintégration bêta de l'U^{239} résultant de la capture d'un neutron par l'U^{238}.

La configuration électronique et les propriétés chimiques du neptunium n'étaient pas faciles à imaginer. On savait que l'uranium ressemblait quelque peu au tungstène, et l'on pensait que l'élément pourrait se rapprocher du rhénium, élément succédant au tungstène. Cependant il était possible que le neptunium fût un membre d'un nouveau type de série de transition parmi les éléments lourds. L'examen des propriétés chimiques du neptunium par McMillan et Abelson démontre qu'il ressemble à l'uranium et non au rhénium. C'était la première preuve que dans les éléments transuraniens c'est la couche électronique 5f qui s'emplit.

La première étude du neptunium, et de tous les éléments transuraniens d'ailleurs, fut basée sur la technique du traceur. Dans cette méthode on emploie un élément dont les propriétés chimiques sont analogues à celles de l'élément étudié afin de suivre le comportement de l'élément radioactif, ce dernier n'étant présent qu'au taux de 10^{-10} g ou même moins. On suit la trace de l'élément nouveau dans diverses réactions grâce à sa radioactivité plutôt que par analyse. Malgré la petitesse des quantités en jeu on peut tirer des déductions valables sur les propriétés chimiques d'un élément — la solubilité de ses composés, ses potentiels redox et la formation d'ions complexes — en se servant judicieusement et prudemment de méthodes traceuses de ce genre.

LE PLUTONIUM

C'est le plutonium qu'on découvrit ensuite. E. M. McMillan, J. W. Kennedy, A. C. Wahl et l'auteur bombardèrent l'uranium avec du deutérium et purent obtenir un nouvel isotope du neptunium, Np^{238}, dont la dégradation donna le Pu^{238}. Ils trouvèrent que la demi-vie de cet isotope était suffisamment longue pour en permettre la détection et pour en déterminer une masse de propriétés chimiques par la méthode des traces. Armés de ces informations sur les nouveaux éléments J. W. Kennedy, E. Segrè, A. C. Wahl et l'auteur identifièrent en 1941 l'isotope le plus important du plutonium, Pu^{239}, comme étant le produit de dégradation du Np^{239}; ils purent établir ainsi que les neutrons lents provoquent la scission du Pu^{239}.

Quand on comprit que le plutonium, sous forme de Pu^{239}, pouvait servir de projectile nucléaire et qu'il pouvait se produire en grande quantité dans un réacteur à chaîne nucléaire, il fallut à tout prix étudier les propriétés chimiques du plutonium avec des quantités de l'ordre du microgramme. En août 1942 B. B. Cunningham et L. B. Werner parvinrent à isoler environ un microgramme de Pu^{239} qui avait été préparé par irradiation dans un cyclotron. Le plutonium fut donc le premier élément synthétique que l'homme ait obtenu en quantité visible.

L'arrière-plan de ces techniques de manipulations ultramicrochimiques est dû aux recherches fondamentales de P. L. Kirk et A. A. Benedetti-Pichler. Si l'on utilise des volumes extrêmement petits, même une quantité de matière de l'ordre du microgramme peut donner des concentrations plutôt élevées en solution, et, avec la réalisation de balances ayant la sensibilité requise, des microgrammes suffisent aussi pour des mesures gravimétriques quantitatives. Des volumes liquides dans la zone de 10^{-1} à 10^{-5} ml purent se mesurer avec une erreur moindre que 1% au moyen de tubes capillaires finement calibrés où le mouvement du liquide était réglé par la pression d'air. On construisit de plus petites pipettes à remplissage automatique par capillarité. La verrerie chimique, tubes à essai et béchers, fut construite en tube capillaire d'un diamètre interne de 0,1–1 mm et fut manipulée avec des micromanipulateurs. Les poids des réactifs solides et précipités traités en ultramicrochimie étaient généralement de l'ordre de 0,1–100 μg. En changeant d'échelle on change de méthode: ainsi, c'est par centrifugation et non par filtration qu'on sépare les solides des liquides. Les opérations chimiques s'effectuent d'habitude sur l'armature mécanique d'un microscope, l'appareil tout entier étant dans

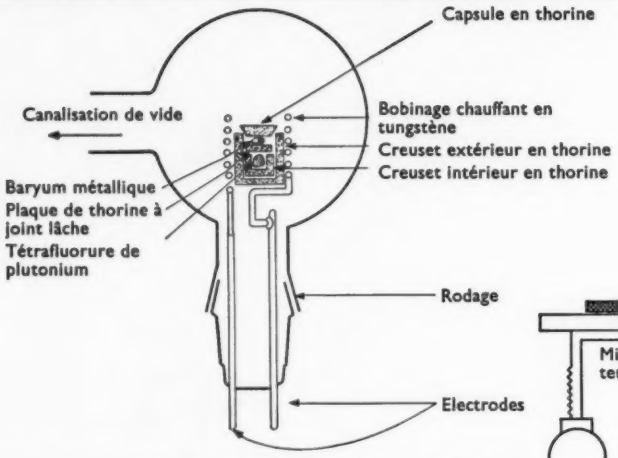


FIGURE 1 – *Appareil employé pour la première préparation de plutonium métallique (novembre 1943). On traita 35 µg de tétrafluorure de plutonium avec du baryum métallique volatilisé à 1400° dans un creuset de thorine. Le plutonium métallique fut obtenu en globules argentés de 3 µg environ chacun.*

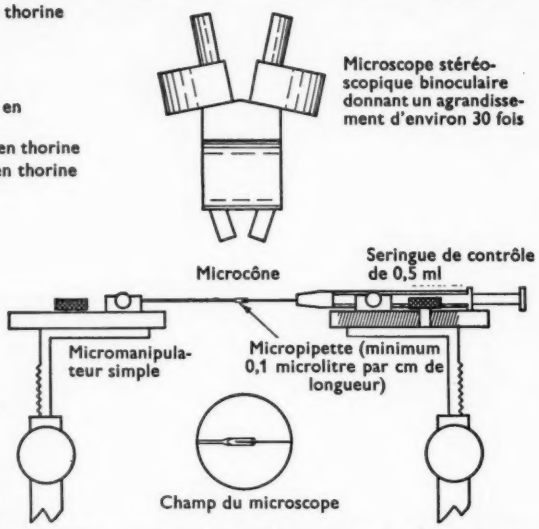


FIGURE 2 – *Dispositif expérimental pour l'étude de réactions de précipitation à l'échelle du microgramme.*

le champ (figure 2). Une des premières réalisations en ultramicrochimie fut l'isolation du neptunium pur (figure 3) et des composés de plutonium pur (figure 4) ainsi que la préparation de métal de plutonium. Les figures 1 et 5 donnent des schémas des installations expérimentales utilisées dans la préparation de plutonium métallique pur et de trichlorure de plutonium.

Le plutonium est le seul élément synthétique qu'on ait produit et isolé en quantités mesurables en kilos. La grande usine de Hanford, Washington fut construite en se basant sur des expériences faites à partir de 2 mg de plutonium environ; l'extrapolation des expériences ultramicrochimiques à l'usine finale de Hanford correspond à un facteur de 10^9; cette extrapolation a certainement des proportions uniques.

L'étude chimique du plutonium et d'autres éléments transuraniens s'effectue souvent à l'échelle du milligramme au plus par choix plutôt qu'à cause d'un manque de matière: en effet le plutonium est infiniment toxique à cause de son rayonnement alpha qui s'élève à environ 140 000 000 désintégrations alpha par minute et par milligramme; quand on s'en sert on doit employer un équipement spécial et prendre des précautions, et n'utiliser que des quantités infimes.

L'AMÉRICIUM ET LE CURIUM

Après la production du plutonium en quantité, on découvrit l'américium (1944–45) et le curium (1944). La rapidité de la découverte de ces éléments fut due principalement à la prédiction précise de leurs propriétés chimiques basée sur leurs positions supposées dans la classification périodique (page 6). Le curium, découvert par R. A. James, L. O. Morgan, A. Ghiorso et l'auteur, fut synthétisé sous forme de Cm^{242} par le bombardement de plutonium avec des ions d'hélium. La production d'américium par James, Ghiorso et l'auteur fut accomplie en préparant le Pu^{241} qui se désintègre en donnant une émission bêta et de l'Am^{241}.

IDENTIFICATION PAR ÉCHANGE IONIQUE

La technique d'échange ionique associée à une comparaison, élément par élément, du comportement d'éléments actinides et lanthanides correspondants a joué un rôle essentiel dans la découverte des éléments transuraniens. Comme les éléments actinides situés au-dessus du plutonium sont principalement trivalents en solution et se ressemblent beaucoup du point de vue chimique, la plupart des méthodes de séparation conventionnelles ne sont pas praticables. En outre, les premiers isotopes actinides n'avaient qu'une existence éphémère et les quantités étaient infimes. Il fallait donc des méthodes spécifiques et rapides pour les identifier: l'échange ionique donne la sélectivité et la rapidité voulues. Le principal de nos connaissances chimiques des éléments actinides plus lourds que le curium a trait à leur échange ionique et leurs propriétés d'élution.

Les ions actinides et/ou lanthanides trivalents

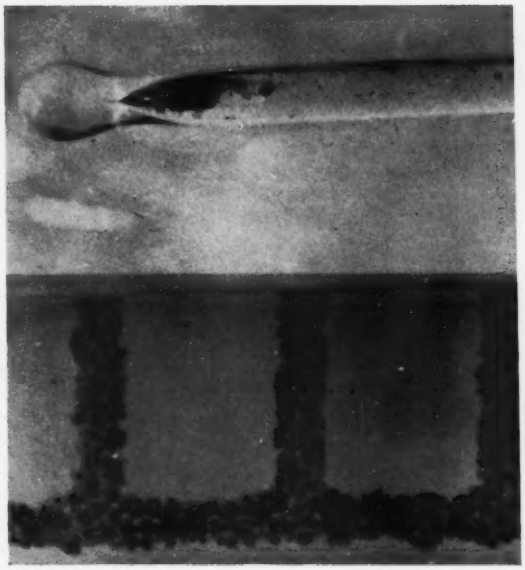


FIGURE 3 – *Isolation du premier composé de neptunium. Le neptunium sous forme d'oxyde se voit au fond du capillaire. L'échantillon fut isolé en 1944 et pesait 10 µg. A titre de comparaison on voit une échelle millimétrique sous l'échantillon.*

FIGURE 4 – *Le premier composé de plutonium que l'on ait pesé (10 septembre 1942.) Le plutonium sous forme d'oxyde est le dépôt en croûte indiqué par la flèche, près de l'extrémité de la cuvette de pesée en platine soutenue par une pince. Le poids de l'oxyde de plutonium était de 2,77 µg. (× 20)*

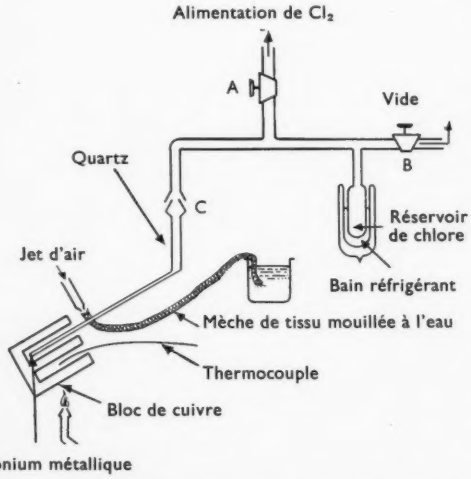


FIGURE 5 – *Appareil utilisé pour la première préparation de $PuCl_3$ (février 1944). Le composé fut préparé en traitant un fragment de 50 g de plutonium métallique avec du chlore gazeux. Après avoir placé le plutonium dans un tube capillaire on fit le vide. Le chlore fut ajouté et une petite quantité fut condensée dans un réservoir indiqué dans la figure. Le système fut fermé et maintenu avec le chlore à une pression d'environ 60 mm de mercure. Le bloc de cuivre fut chauffé à 45°, et le produit de la réaction se forma au haut du tube capillaire. La section du capillaire contenant le produit fut scellée et le composé formé identifié par diffraction aux rayons X.*

en solution subissent un échange chimique simple quand on agite dans la solution un polymère solide porteur de cations échangeables. Le solide est placé au sommet d'une colonne de verre dont le restant est rempli du même polymère organique vide d'ions lanthanides ou actinides. On opère l'élution de l'actinide ou du lanthanide en versant dans la colonne une solution contenant des ions capables de former des complexes avec eux. Dans certains systèmes modèles les éléments lanthanides émergent de la colonne dans l'ordre opposé à celui de leurs nombres atomiques: le lutécium est recueilli le premier dans les gouttes tombant de la colonne, puis l'ytterbium et ainsi de suite jusqu'au cérium. Le procédé ressemble de très près à la technique bien connue de la chromatographie. Dans le cas des actinides l'élément inconnu 103 émerge le premier, suivi de l'élément 102 et ainsi de suite en descendant l'échelle des nombres atomiques.

LE BERKÉLIUM ET LE CALIFORNIUM

A la fin de 1949 et au début de 1950, des expériences aboutirent à la production des éléments 97 et 98, le berkélium et le californium. Les six premiers éléments transuraniens furent découverts presque en paires, les intervalles de temps correspondant aux perfectionnements techniques

et à l'accumulation de matière première. L'irradiation intense et prolongée de plutonium avec des neutrons fournit quelques milligrammes d'américium devant servir de cible: ce procédé permet d'édifier les éléments plus lourds par une série de captures de neutrons. La cible de curium, quelques microgrammes, fut préparée à son tour par irradiation de l'américium au moyen de neutrons. Ces deux bombardements neutroniques furent effectués dans des réacteurs à flux élevé. Le berkélium, sous la forme de l'isotope Bk^{243}, fut découvert en décembre 1949 par S. G. Thompson, A. Ghiorso et l'auteur, après le bombardement d'américium avec des ions d'hélium. Le californium fut synthétisé et identifié pour la première fois par S. G. Thompson, K. Street Jr, A. Ghiorso et l'auteur en février 1950: l'isotope Cf^{245} résulte du bombardement de microgrammes de curium par des ions d'hélium.

L'EINSTEINIUM ET LE FERMIUM

La première explosion thermonucléaire expérimentale du Pacifique en novembre 1952 permit de découvrir les éléments 99 et 100, l'einsteinium et le fermium. Ces deux éléments furent trouvés dans les débris recueillis d'abord sur du papier filtre attaché aux avions ayant traversé la zone d'explosion, puis en quantité plus abondante dans des matières recueillies à la surface d'un atoll voisin. L'uranium du mécanisme de fission-fusion avait été soumis à un flux neutronique momentané intense, qui avait engendré des isotopes très lourds de l'uranium. Leur rapide désintégration donna de lourds isotopes de plutonium, américium, curium, berkélium, californium et des éléments 99 et 100. Ces produits de la réaction furent examinés par des équipes aux *University of California Radiation Laboratory*, *Argonne National Laboratory* et *Los Alamos Scientific Laboratory*. Les deux éléments furent découverts par Ghiorso et ses collaborateurs aux trois laboratoires.

On a synthétisé l'einsteinium et le fermium par plusieurs méthodes. La principale consiste à irradier du plutonium avec un flux intense de neutrons durant plusieurs années dans un réacteur comme celui du *Materials Testing* à Arco, Idaho. L'einsteinium de départ pour l'élément 101 fut préparé dans ce réacteur.

LE MENDÉLÉVIUM

La synthèse de l'élément 101 fut conçue et accomplie non seulement en employant une cible d'einsteinium (E^{253}) si infime qu'elle était impondérable, mais aussi en prévoyant que chaque expérience ne produirait qu'un seul atome de l'élément 101. Comme cible on ne disposait que d'un milliard d'atomes d'E^{253}. En outre, il était indispensable de séparer un atome d'élément 101 des 10^9 atomes de la cible d'einsteinium et finalement réussir son identification chimique complète par séparation dans la position de l'éka-thulium par la méthode d'échange ionique. Il fallait pour cela de nouvelles techniques et de la chance; heureusement on eut les deux. La nouvelle technique comprenait la séparation de l'élément 101 de la cible d'einsteinium par la méthode de recul. Une feuille d'or était recouverte d'une couche invisible d'einsteinium, au-devant de laquelle on avait disposé une seconde feuille mince d'or. Un faisceau d'ions d'hélium fut dirigé à l'arrière de la première; les atomes de l'élément 101, reculant sous le choc, furent captés par la seconde. Celle-ci ne contenait que peu d'atomes d'einsteinium et fut dissoute en vue des séparations chimiques. On disposait de méthodes très sensibles pour la détection d'isotopes qui se désintègrent par émission alpha ou par fission spontanée. Elles étaient si sensibles qu'elles permettaient la détection d'un ou deux atomes d'élément 101 par expérience.

Lors des premières expériences on se bornait à rechercher les isotopes éphémères émetteurs de rayonnement alpha qui pouvaient provenir de l'élément 101. On ne put déceler, toutefois, de rayonnement alpha originaire de l'élément 101, même quand l'intervalle entre la fin du bombardement et le début de l'analyse du rayonnement alpha fut ramené à cinq minutes. On continua les expériences, et lors d'un des bombardements suivants on put observer une grande pulsation unique due à la fission spontanée. Des expériences chimiques prouvèrent que les comptages de fission spontanée, quand ils ont lieu, arrivent dans les fractions chimiques correspondant approximativement aux éléments 100 et 101. Dans les expériences définitives, trois bombardements successifs de trois heures furent effectués, et leurs produits de transmutation furent séparés tour à tour rapidement et complètement par la méthode d'échange ionique. Dans la position d'élution correspondant à l'élément 101 on compta au total cinq fissions spontanées, tandis que dans la position de l'élément 100 on en décela huit. Il n'y eut aucune pulsation aux autres positions. L'activité de fission spontanée, tant de la fraction de l'élément 101 que de l'élément 100, se dégrada avec une demi-vie de trois heures environ. Cette donnée jointe à d'autres encore nous amena à conclure que l'isotope a une masse de 256 et se désintègre par

capture d'un électron en une demi-vie d'une demi-heure, en donnant l'isotope Fm^{256} auquel est due la désintégration de fission spontanée.

C'est sur la foi de ces preuves que le groupe, comprenant A. Ghiorso, B. G. Harvey, G. R. Choppin, S. G. Thompson et l'auteur, annonça la découverte de l'élément 101. Nous lui avons donné le nom de mendélévium en l'honneur du chimiste russe Dmitri Mendéléev, le pionnier, qui avait été le premier à se servir du système périodique des éléments pour prédire les propriétés chimiques d'éléments non encore découverts. Des expériences ultérieures avec des cibles plus riches en einsteinium permirent la production de plus d'une centaine d'atomes de mendélévium. Elles indiquent que le mendélévium est un élément actinide positif typique et un éka-thulium vrai comme on s'y attendait.

L'ÉLÉMENT 102

A la suite de travaux effectués à l'Institut Nobel de Physique de Stockholm par un groupe de savants du *Argonne National Laboratory*, de l'*Atomic Energy Research Establishment* de Harwell et de l'Institut Nobel, la découverte de l'élément 102 fut annoncée en 1957. Il fut signalé qu'un isotope de cet élément avait été produit en bombardant du Cm^{244} avec des ions $C^{13(+4)}$ produits en cyclotron, et qu'il se désintégrait par émission de particules alpha de 8,5 MeV avec une demi-vie de dix minutes environ. Ce groupe proposa le nom de nobelium pour l'élément 102. Malheureusement des expériences exécutées au *University of California Radiation Laboratory* n'ont pas permis de confirmer cette découverte. En avril 1958 un groupe comprenant Ghiorso, T. Sikkeland, J. R. Walton et l'auteur identifièrent au *Radiation Laboratory* un isotope 102^{254} comme étant le produit du bombardement du Cm^{246} avec des ions C^{12} accélérés dans le nouvel accélérateur linéaire d'ions lourds de ce laboratoire. L'isotope de l'élément 102 se désintègre par émission alpha avec une demi-vie de 3 secondes environ. Il fut décelé par identification chimique de sa fille bien connue, l'élément Fm^{250}, dont les atomes furent séparés du parent, l'élément 102, grâce au recul de l'émission alpha de l'élément 102. Bien que l'élément 102 doive certainement être rebaptisé, les derniers chercheurs n'ont pas encore suggéré un nouveau nom jusqu'à présent.

COMPARAISON ENTRE LES ACTINIDES ET LES LANTHANIDES

La ressemblance entre les éléments actinides et lanthanides suggère une similitude entre leurs structures électroniques. Dans les éléments lanthanides les quatorze électrons 4f s'additionnent un à un du cérium (nombre atomique 58) au lutécium (nombre atomique 71). Dans les éléments actinides les quatorze électrons 5f s'ajoutent à partir du thorium théoriquement, pour finir avec l'élément 103. La preuve, trop complexe et trop longue pour cet article, se trouve dans les propriétés chimiques, les spectres d'absorption et de fluorescence en solution aqueuse et dans les cristaux, les données de structure cristallographique, les propriétés magnétiques et spectroscopiques. Le lanthanide gadolinium, avec sept électrons 4f, et l'actinide curium, avec sept électrons 5f, présentent un intérêt spécial en raison de la stabilité accrue découlant de la configuration électronique f à moitié remplie. On a constaté que ces deux éléments ont des propriétés remarquablement semblables. La parenté au sein du groupe actinide signifie que l'étude de l'un d'entre eux donne souvent des renseignements indirects sur les propriétés chimiques d'un autre. Ainsi certaines anomalies dans l'ordre d'élution des éléments transplutoniens ont permis de tirer des déductions quant aux propriétés chimiques du plutonium en fonction de sa structure électronique.

Notons cependant qu'il y a des différences considérables entre les éléments actinides et lanthanides, qui proviennent surtout de ce que les électrons extérieurs 5f sont retenus par une énergie moindre et qu'ils assurent un blindage plus faible que les électrons 4f. Il semble que le premier électron 5f soit absent dans le thorium. Selon les indications obtenues jusqu'ici l'uranium posséderait trois électrons 5f. Les cinq électrons supplémentaires s'ajouteraient régulièrement aux éléments suivants en passant par le curium avec une couche à moitié remplie pour aboutir à l'élément 103 encore inconnu, qui devrait avoir quatorze électrons 5f. L'énergie de liaison des électrons 5f des actinides, surtout les premiers, est moindre que celle des 4f des lanthanides; ces éléments adoptent donc plus facilement des états d'oxydation plus élevés. Il est difficile d'assigner l'orbitale 5f ou 6d à ces électrons puisque la différence d'énergie semble se situer dans la zone des énergies de liaison chimique. Il sera peut-être impossible d'établir, à partir de la configuration de l'atome gazeux, la structure électronique des composés ou des ions hydratés en solution aqueuse. Dans le cas des éléments lanthanides (après le xénon) la configuration de l'atome gazeux ne comprend généralement que deux électrons au-delà

de la couche 4f, bien que le niveau d'oxydation dominant, en solution aqueuse, soit la valence trois. Remarquons aussi que pour un élément actinide donné les électrons 5f se stabilisent de préférence aux 6d pour des niveaux d'oxydation croissants.

Toutefois, les différences entre les groupes actinide et lanthanide donnent l'occasion d'étudier de nouveaux phénomènes chimiques importants. A titre d'exemple, la position énergétique des orbitales 5f et leur extension spatiale plus importante les rend disponibles pour l'hybridisation de liaisons qui se manifeste par des ions complexes très intéressants. De même, la position exposée des électrons 5f peut provoquer des scissions de champ capables d'influencer les entropies ioniques dans des sens qu'on ne constate pas pour les éléments plus légers.

ÉVOLUTION FUTURE

La découverte d'éléments transuraniens supplémentaires paraît possible. L'étude d'isotopes connus des éléments transuraniens a permis de prédire les caractéristiques de la désintégration d'isotopes nouveaux avant leur découverte. Dans les cas de dégradation par émission alpha et par fission spontanée, on a constaté le plus de régularité pour les noyaux dont les neutrons et les protons sont en nombres pairs, ce qui renforce les prédictions relatives aux propriétés d'isotopes de ce type. La vitesse de dégradation par émission alpha et par fission spontanée est plus lente pour les isotopes ayant un nombre impair de neutrons, de protons ou des deux, que ceux à nombres pairs. Malheureusement il est douteux qu'on puisse produire des éléments de plus en plus lourds, car les prédictions suggèrent des demi-vies de plus en plus courtes avec l'accroissement du nombre atomique. Quand nous atteindrons les éléments 104 et 105 nous trouverons sans doute que les isotopes les plus durables que nous puissions créer persisteront juste le temps d'être identifiés. Les demi-vies prédites pour les isotopes les plus durables de l'élément 104 se mesurent en minutes ou en secondes, celles de l'élément 105 en secondes. Notons, toutefois, que la dégradation de tout nuclide de ce genre peut être sérieusement entravée, ce qui donne des demi-vies plus longues que prévu. Il est probable que le critère normal pour la découverte d'un nouvel élément, identification chimique et séparation de tous les éléments connus précédemment, devra être modifié de quelque façon. Des mesures soigneuses des constantes de dégradation, des rendements produits et des mécanismes, ainsi que l'emploi judicieux des techniques de recul, devraient permettre d'identifier de façon effective une bonne demi-douzaine d'éléments encore, au-delà des éléments les plus lourds connus. En fait nous pensons que l'identification des isotopes de tous les premiers éléments découverts s'accomplira par ces méthodes, et que la production d'isotopes d'une durée suffisante pour l'identification chimique viendra par la suite. Il est probable que l'identification d'isotopes très éphémères pourra se faire par des méthodes plus simples et plus rapides basées sur la migration, la volatilité, des réactions avec des surfaces ou des réactions de flux gazeux.

On a fait quelques prédictions intéressantes au sujet des noyaux les plus lourds. J. A. Wheeler a pu démontrer que les électrons périphériques d'atomes dont le nombre atomique dépasse nettement 137 (la limite supérieure admise) se comporteraient normalement vu l'extension limitée du noyau. En conséquence, du point de vue de la structure électronique de tels atomes, il n'y aurait aucune objection, apparemment, à l'existence d'éléments d'un poids si élevé. Pour les produire il faudrait des flux neutroniques extrêmement élevés, de l'ordre de 10^{31} neutrons par cm^2 par seconde, comme il en existe peut-être dans les étoiles. On conçoit difficilement des noyaux pareils sur la Terre. On ne voit pas comment des noyaux d'un tel poids pourraient être produits ni décelés, parce que la vitesse de dégradation s'accroît rapidement en fonction du nombre atomique. Par conséquent les prédictions basées sur la régularité des propriétés de dégradation suggèrent qu'il ne devrait être possible ni de produire ni de déceler plus de six éléments nouveaux, à moins qu'on ne trouve des îlots de stabilité dus à des couches fermées de neutrons ou de protons.

La prédiction des propriétés chimiques des éléments au-delà du mendélévium paraît simple. L'élément 103 devrait compléter la série actinide, et l'on compte placer les éléments 104, 105, 106, etc., dans la classification périodique sous l'hafnium, le tantale, le tungstène, etc. Après avoir complété la couche 6d, les électrons entreront dans la couche 7p pour aboutir à la structure de gaz rare à l'élément hypothétique 118. Il semble bien certain que l'identification chimique finale des éléments 102 et 103 s'opérera par échange ionique grâce aux propriétés connues de leurs homologues l'ytterbium et le lutécium, et d'autres éléments actinides. Pour l'élément 102 on pourrait prévoir un niveau d'oxydation trivalent stable et une

bivalence un peu moins stable qui peut avoir de l'importance dans l'identification chimique de cet élément. Si la stabilité de l'état bivalent de l'élément 102 est du même ordre que celle de l'ytterbium, on devrait pouvoir le séparer par réduction électrolytique ou en amalgame des autres actinides avec l'ytterbium comme porteur. La stabilité de l'état bivalent pourrait se refléter sur les propriétés de l'état métallique de cet élément, densité particulièrement basse et volatilité assez élevée. L'élément 103 devrait être uniquement trivalent. L'élément 104 devrait être exclusivement tétravalent en solution aqueuse et ressembler à son homologue l'hafnium. L'élément 105 devrait ressembler au niobium et au tantale, et, dans une certaine mesure, au protoactinium, l'état pentavalent étant prédominant. On peut prédire les propriétés de l'élément 106 par analogie avec le tungstène, le molybdène et, jusqu'à un certain point le chrome; on pourrait donc s'attendre aux états d'oxydation III, IV, V et VI. Pour les éléments 107, 108, 109, 110, etc., on pourrait s'attendre à ce qu'ils ressemblent respectivement, du point de vue chimique, au rhénium, à l'osmium, à l'iridium et au platine.

La possibilité de préparer des éléments transfermiens par capture multiple de neutrons après un bombardement prolongé et intense est pratiquement exclue puisque certains des isotopes ont une demi-vie si courte qu'ils ne peuvent exister à des concentrations appréciables, comme il le faudrait. Heureusement il existe un autre type de réaction nucléaire qui permet d'entrevoir la production de nouveaux éléments de nombre atomique plus élevé: c'est le bombardement avec des ions lourds. On a déjà observé des réactions de ce genre dans bien des laboratoires; les isotopes du californium, de l'einsteinium et du fermium ont été créés respectivement par le bombardement d'uranium avec des ions carbone, azote et oxygène. On accélère ces ions dans des cyclotrons conventionnels. A l'Université de Californie à Berkeley on a construit un accélérateur linéaire capable de produire des faisceaux assez importants de tous les ions lourds jusqu'au néon, et même, peut-être, des faisceaux utilisables d'ions ayant le poids de celui de l'argon. Un accélérateur analogue fonctionne à l'Université de Yale. La Russie a manifesté un vif intérêt aux ions lourds et à leur application dans la synthèse des éléments transuraniens, et elle construit des accélérateurs d'ions lourds. Néanmoins, même en employant des ions lourds, la source de matériaux de cible présente de gros problèmes. Pour préparer ne fût-ce que quelques milligrammes de berkélium, de californium ou d'einsteinium dans des délais raisonnables, on doit employer de nouveaux réacteurs coûteux, capables de produire des flux élevés de 10^{15} à 10^{16} neutrons par cm^2 par seconde.

Dans ce bref article nous avons fatalement dû omettre même de mentionner certains aspects importants du domaine des éléments transuraniens, et, notamment, nous n'avons pu évoquer le caractère international des travaux effectués dans les dernières années. Nous avons mis l'accent sur les propriétés chimiques, les aspects historiques et l'évolution future que l'on présage dans ce domaine.

BIBLIOGRAPHIE

KATZ, J. J. et SEABORG, G. T. «The Chemistry of the Actinide Elements». Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1957.

SEABORG, G. T. «The Transuranium Elements». Yale University Press, New Haven. 1958.

SEABORG, G. T. et KATZ, J. J. (publié par). «The Actinide Elements», National Nuclear Energy Series, Div. IV, Vol. 14A. McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York. 1954.

SEABORG, G. T., KATZ, J. J. et MANNING, W. M. (publié par). «The Transuranium Elements: Research Papers», National Nuclear Energy Series, Div. IV, Vol. 14B. McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York. 1949.

«Comptes rendus de la conférence internationale sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique, Genève, 1955», Vols. I–XVI. Nations Unies, New-York. 1956.

REMY, H. «Treatise on Inorganic Chemistry», Vol. II. Elsevier Publishing Co., Londres. 1956.

HAÏSSINSKY, M. «La chimie nucléaire et ses applications». Masson et Cie, Paris. 1957.

BRUNI, G. «Chimica Generale e Inorganica» (10e édition). G. R. Levi et M. A. Rollier (publié par). Cesare Tamburini, Milan. 1957.

HYDE, E. K. et SEABORG, G. T. «The Transuranium Elements». Handbuch der Physik, Vol. XLII, p. 205. Springer-Verlag, Berlin. 1957.

PERLMAN, I. et RASMUSSEN, J. O. «Alpha Radioactivity». Handbuch der Physik, Vol. XLII, p. 109. Springer-Verlag, Berlin. 1957.

LISTER, M. W. «Chemistry of the Transuranic Elements», Vol. IV, p. 20. Chemical Society, Londres. 1950.

NAST, R. et VON KRAKKAY, T. *Fortschr. Chem. Forsch.*, **2**, 484, 1952.

MELANDER, L. *Svensk kem. Tidskr.*, **63**, 311, 1951.

GOL'DANSKII, V. I. Новые Химические Элементы (Eléments chimiques nouveaux). Sér. III, No. 2. Издательство «Знание», Moscou. 1955.

SEABORG, G. T. «The Eight New Synthetic Elements». *Kagaku*, **19**, 211, 1949.

Doppler et l'effet Doppler

par E. N. DA C. ANDRADE

Les applications de l'effet Doppler vont aujourd'hui de la navigation aérienne à l'expansion de l'univers. Cet article relate l'origine du principe, énoncé tout d'abord pour être utilisé en astronomie, son histoire et ses emplois actuels.

Doppler serait inconnu aujourd'hui sans l'effet qui porte son nom. A l'inverse de certains savants, comme Hooke et Boyle, dont les lois ne représentent qu'une faible portion de leurs apports, Doppler, en dépit de son assiduité au travail, ne fit aucune autre contribution de valeur à la science, à part un article de jeunesse sur l'illusion stroboscopique. L'effet ou principe Doppler a maintenant de nombreuses et importantes applications, que nous étudierons par la suite, mais, bien que l'exposé en parût dès 1843,[1] on n'en vit pas tout de suite les possibilités. L'histoire bien connue de la physique publiée par Heller en 1882–84, par exemple, n'en fait pas mention.

Christian Doppler naquit à Salzbourg, fils d'un maître-maçon, le 29 novembre 1805. Il était, paraît-il, assez doué pour la sculpture sur bois mais n'avait pas la vigueur nécessaire pour le métier paternel. Le mathématicien Stampfer discerna le talent du jeune homme, ce qui valut à celui-ci d'être admis à l'Institut Polytechnique de Vienne. Il enseigna par la suite les mathématiques à titre subalterne et, ne trouvant pas de poste meilleur, était sur le point d'émigrer en Amérique en 1835 quand il fut nommé Professeur de Mathématiques à la *Realschule* de Prague. Il passa plus tard au Collège Technique de la ville pour y enseigner «les mathématiques élémentaires et la géométrie pratique» et c'est dans ce dernier poste qu'il publia le fameux principe. Nous le trouvons ensuite Professeur de Mathématiques, Physique et Mécanique à l'Académie des Mines de Schemnitz. On commençait alors à reconnaître son mérite et l'Université de Prague lui accorda un doctorat honoraire. Peu après il atteignit le sommet de son ambition: le professorat de Physique expérimentale à l'Université de Vienne, où il fut nommé en 1850. L'institut qu'il y fonda fut le premier en Autriche pour l'étude de la physique. Il ne jouit toutefois pas longtemps de cette position et mourut de maladie pulmonaire en 1853. Sa carrière dans l'enseignement avait été quelque peu accidentée et il ne connut les succès académiques que vers la fin de sa vie.

Doppler était, paraît-il, doué d'un caractère droit et bon. A l'occasion du centième anniversaire de sa naissance, l'importance de son principe ayant été alors établie, divers honneurs posthumes lui furent décernés à Salzbourg, à Prague et à Vienne et on donna même son nom à des rues dans ces deux dernières cités. En 1901, on lui érigea un buste à l'Université de Vienne.

Le célèbre principe parut dans une communication aux *Abhandlungen der Königlichen Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften* (Compte rendus de la Société Royale Savante de Bohême) en 1843, sous le titre *Ueber das farbige Licht der Doppelsterne* (Sur la lumière colorée des étoiles doubles) [1]. Selon le sous-titre, c'est un essai théorique où entre le théorème de Bradley sur l'aberration. Son objet principal est donc l'étude de l'effet de la vitesse d'une source lumineuse mobile sur la fréquence relevée par l'observateur. En effet Doppler déclare clairement vers la fin de l'étude que son but est de démontrer, non pas la possibilité, mais la nécessité de l'influence des très grandes vitesses des corps célestes sur la couleur et l'intensité de la lumière observée par nous.

Il commence par vanter la théorie des ondes lumineuses transversales, faisant allusion au fait, assez surprenant pour nous, qu'en 1842 il existait encore des physiciens doutant de sa validité. La couleur dépend de la fréquence des vibrations excitant l'œil et toute modification d'intervalle entre les impulsions successives change la couleur perçue. Tant que la source et l'observateur sont au repos, la fréquence observée est celle de la lumière émise par la source, mais si l'observateur se déplace dans sa direction, la fréquence augmente obligatoirement et décroît s'il s'en éloigne. Les résultats seront identiques si la source est en mouvement. La distinction paraîtra peut-être purement académique à première vue, déclare Doppler, mais, ajoute-t-il, l'honorable lecteur jugera par lui-même en lisant la suite. Toutes les

[1] La date citée est presque toujours 1842. La communication fut présentée le 25 mai 1842 mais ne fut publiée qu'en 1843.

fois que la vitesse de la source ou de l'observateur est appréciable par rapport à celle du mouvement ondulatoire dans son propre milieu, l'effet est significatif. Il suppose tout au long que les ondes (lumineuses, en particulier) se produisent dans un milieu où la source et l'observateur se déplacent librement et c'est pourquoi il mentionne plusieurs fois l'aberration de Bradley. Il emploie, par exemple, l'analogie d'un bateau allant à la rencontre, ou s'éloignant, d'une chaîne de vagues.

Il fait ensuite la théorie mathématique simple du phénomène et obtient, assez maladroitement, une équation équivalente à $n' = n(c-u)/(c-v)$, où n est la fréquence de la source, n' celle que relève l'observateur et c, u et v sont respectivement la vitesse de l'onde dans un milieu stationnaire et celles de l'observateur et de la source dans ce même milieu, vitesses considérées positives lorsque le déplacement est dans le sens de l'onde.

FIGURE 1 – *Buste de Christian Doppler.*

On arrivera facilement à cette formule en considérant que la longueur d'onde λ dans le milieu en question doit être $(c-v)/n$, puisque le nombre d'ondes dans une longueur c du milieu stationnaire est dans une longueur $c-v$ quand la source se déplace dans la même direction que l'onde. Le nombre n' d'ondes passant devant l'observateur par seconde est $(c-u)/\lambda$, puisque u/λ représente le nombre d'entre elles qui n'atteignent pas l'observateur en raison de son déplacement. D'où $n' = (c-u)/\lambda = n(c-u)/(c-v)$. Si u et v sont petits par rapport à c, l'ampleur de l'effet dépend uniquement de la vitesse relative de la source et de l'observateur que ce soit celle-là ou celui-ci qui se déplace par rapport au milieu, puisque, si x est petit, $1-x = 1/(1+x)$ environ. Mais si u et/ou v sont grands par rapport à c, le résultat est très différent, comme on s'en rend compte aisément en supposant u ou $v = c$. Si la source se déplace dans le même sens que l'onde, $n' = \infty$; en sens inverse, $n' = n/2$; si l'observateur va dans le sens de l'onde, $n' = 0$; dans la direction opposée, $n' = 2n$.

Mais revenons à l'article de Doppler. Après avoir établi la formule, il prend le son comme exemple et montre que pour élever une note de *do* à *ré*, l'observateur doit se rapprocher de la source à la vitesse de 40 m/sec environ. Une vitesse de 2,5 m/sec suffirait à produire un effet audible; mais, poursuit Doppler, «je vais maintenant m'occuper de mon objectif principal et appliquer ces considérations à la lumière.»

Le spectre continu entier se déplacera vers le bleu si la source se rapproche de nous et vers le rouge si elle s'éloigne; et, pour qu'un corps émettant une lumière blanche ou violette devienne invisible, la source devra s'éloigner à la vitesse 19/42 = 0,45 de celle de la lumière. Cette fausse conclusion repose sur une erreur qui affecte toute l'étude de Doppler sur les variations de couleur des étoiles en mouvement. Ignorant tout, semble-t-il, des phénomènes déjà découverts au-delà du rouge par F. W. Herschel et du violet par J. W. Ritter, il imaginait le spectre comme une bande de fréquences se terminant au rouge et au violet, de sorte qu'un retrait convenable de la source produirait, par exemple, un déplacement du violet vers le bleu, qui serait le terme du spectre observé. A une vitesse suffisante pour repousser le violet juste au-delà du rouge, aucune lumière ne serait perçue. Il obtint la vitesse citée ci-dessus en prenant des chiffres peu différents de ceux de Thomas Young [2], en ce qui concerne la fréquence du rouge et du violet extrêmes.

Se basant sur un spectre limité et considérant l'éclat comparé de diverses parties du spectre continu, Doppler concluait qu'avec une source de lumière blanche, comme il imaginait toutes les étoiles, une vitesse de 33 milles autrichiens (245 km) par seconde en direction ou en sens inverse de l'observateur produirait un changement de couleur perceptible à l'œil. Mais il faudrait une vitesse de 1 383 km par seconde pour que le changement soit marqué. Les étoiles douées de vitesses dans le rayon visuel, c'est-à-dire entre 245 et 135 000 km par seconde, doivent donc changer de couleur proportionellement à l'augmentation de vitesse; à des vitesses supérieures, elles doivent devenir invisibles.

Doppler présente alors neuf arguments en

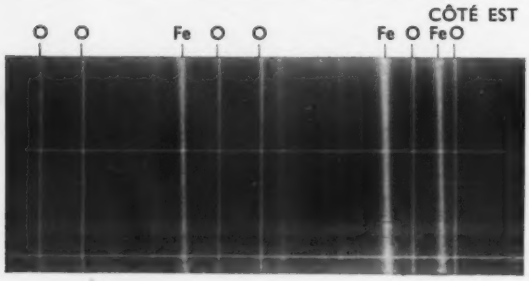


FIGURE 2 – *Effet Doppler dû à la rotation du Soleil. Les lignes d'absorption très nettes (O) sont dues à l'oxygène de l'atmosphère terrestre et ne montrent donc aucun effet. Les lignes (Fe) du fer existant dans la photosphère du Soleil sont déplacées vers le violet du côté est de l'astre, qui se rapproche de nous, et vers le rouge du côté ouest et paraissent donc penchées par rapport à celles de l'oxygène. (Reproduite grâce à l'amabilité de H. H. Plaskett.)*

faveur de sa thèse, tirés de l'observation des étoiles doubles et variables. Il déclare, par exemple, que dans le cas des étoiles doubles dont l'une est beaucoup plus grosse que l'autre, l'étoile principale est presque toujours blanche et l'autre colorée; quand elles sont à peu près de la même taille, toutes deux sont colorées, l'une occupant la moitié du spectre à ondes courtes et l'autre la partie restante. Il rapporte aussi que, dans l'intervalle de cinquante ans entre les observations de Herschel aîné et celles de Struve, la couleur des étoiles doubles γ du Lion et γ du Dauphin a changé. Il attribue tous ces phénomènes, et même l'apparition d'étoiles nouvelles et la disparition d'anciennes, à des effets de la vitesse. Il va sans dire qu'il faisait erreur. L'argumentation générale et le principe énoncé étaient corrects; l'application au son était correcte également mais les phénomènes de couleur stellaire, qu'il cherchait avant tout à expliquer, n'ont rien à voir avec l'effet Doppler.

Tyndall, dans son célèbre ouvrage paru sous le titre *Sound* en 1867, déclare après avoir décrit le mécanisme de l'effet Doppler dans le cas du son: «C'est là-dessus que repose la théorie de Doppler sur les étoiles colorées. Il pense que toutes les étoiles sont blanches mais que certaines s'éloignent rapidement de nous, ce qui allonge leurs ondes lumineuses et les fait paraître rouges; d'autres se rapprochent rapidement de nous, ce qui raccourcit leurs ondes et les fait paraître vertes et bleues. L'ingéniosité de cette théorie est extrême mais son exactitude est très douteuse.»

La validité du principe général ne fut pas universellement acceptée par les savants, un des antagonistes principaux étant Petzval, célèbre pour ses travaux sur les lentilles et dont l'opposition, basée sur une conception erronée du problème, commença en 1852 et persista pendant plusieurs années. L'effet fut bientôt vérifié pour le son. Dès 1845, Buys-Ballot [3] employa un wagon ouvert, tiré par une locomotive sur une voie de chemin de fer en ligne droite, pour transporter la source ou l'observateur en mouvement. La source était représentée par des trompettes habilement jouées, les observateurs par des musiciens à l'oreille exercée, capables d'apprécier les changements de ton. Il y avait à la fois des trompettes dans le wagon et des observateurs le long de la voie ainsi que des observateurs dans le wagon et des trompettes sur la ligne. Il va sans dire que le bruit de la locomotive était gênant, mais les résultats vérifièrent parfaitement la théorie. Signalons en passant que Buys-Ballot exprima des doutes sur la possibilité, affirmée par Doppler, d'observer à l'œil nu les changements de couleur dus au mouvement des étoiles, objections auxquelles celui-ci répliqua. Des expériences similaires sur le son furent exécutées en Angleterre par Scott Russell en 1848 [4]. H. C. Vogel [5] fit des tests plus rigoureux en 1876, utilisant une locomotive dont le sifflet avait une note particulièrement pure. Un violon reproduisait la note émise quand la machine avançait ou reculait.

Fizeau [6], dont nous étudierons plus loin l'importante communication, mit au point une ingénieuse expérience de laboratoire pour prouver l'effet Doppler. Une roue d'un mètre de diamètre avait une carte fixée radialement de façon à frapper les dents de deux sortes de peignes courbes placés en haut et en bas, quand elle entrait en rotation. La carte mise en vibration par l'un des peignes figurait une source approchante pour un observateur placé dans le plan de rotation de la roue et, frappée par l'autre, une source s'éloignant. L'expérience donna ainsi des différences de ton d'une tierce majeure (rapport 5 : 4), ce qui s'accordait très bien avec le résultat calculé d'après la vitesse.

Une démonstration simple, inventée par K. R. König [7] vers 1865, est intéressante parce qu'elle illustre la méthode d'une application toute récente de l'effet aux ondes de radio, que nous verrons par la suite. Deux diapasons semblables étaient réglés de façon à donner quatre battements par seconde quand on les frappait à la fois. Si l'on approchait l'un de l'oreille à une vitesse uniforme sans toucher l'autre, le nombre de battements changeait, croissant ou décroissant selon que le diapason déplacé était le plus grave ou le plus aigu des deux.

L'avantage de cette méthode de battements, si sensible aux changements de fréquence, est qu'une vitesse minime par rapport à celle des ondes suffit pour donner un effet perceptible. Avec les diapasons de König, de fréquence 512, une vitesse de 60 cm/sec faisait un changement d'un battement par seconde; avec une fréquence de 1024, 30 cm/sec aurait produit le même effet. Plus la fréquence est élevée, plus il est aisé d'apprécier la vitesse par rapport à celle des ondes.

La démonstration en laboratoire dans le cas de la lumière est naturellement beaucoup plus difficile que dans celui du son, mais fut exécutée par Belopolski vers 1900 [8]. Il se servit du fait qu'avec la réflexion multiple de la lumière provenant d'une source entre deux miroirs à peu près parallèles, l'effet de la vitesse de chaque miroir est multiplié n fois à la n^e réflexion. On utilisait deux roues pivotant en sens inverse et surmontées d'un certain nombre de miroirs placés dans le sens des rayons, le nombre servant uniquement à augmenter l'effet. Les raies solaires Fraunhofer servaient de fréquence-type modifiée par la réflexion dans les miroirs en mouvement. Avec le rayon en question (22 cm environ) et la vitesse de rotation (44 révolutions par seconde environ), quatre réflexions, et parfois six, pouvaient être effectivement utilisées. Les résultats concordèrent assez bien avec la théorie. L'expérience fut répétée en 1907 par le Prince Galitzin et J. Wilip [9] et les progrès de la spectroscopie permirent de constater que le déplacement des lignes de mercure employées était équivalent, à 5% près, à la valeur obtenue par la formule de Doppler. Majorana, avec un appareil à roues modifié du même genre, vérifia le principe encore un peu plus exactement, en 1918.

Mais en 1919, Fabry et Buisson [10] arrivèrent à la même démonstration beaucoup plus simplement, à l'aide d'un disque de papier blanc, de 16 cm de diamètre seulement, pivotant sur un axe vertical à 200 tours par seconde environ, de sorte que la vitesse diamétrale ne soit qu'un tiers d'un millionième de celle de la lumière. Les sources lumineuses étaient deux points éclairés par une lampe à mercure aux extrémités opposées d'un diamètre fixe. Les observations étaient faites dans une direction normale à la ligne joignant les points lumineux et très oblique par rapport au plan du disque pour que les sources restent petites et lumineuses et que la vitesse totale soit efficace. On mesurait la différence de fréquence des deux points à l'aide de l'interféromètre Fabry-Perot, dont la sensibilité permit de vérifier l'effet avec une exactitude de 3%, résultat remarquable pour des vitesses si faibles.

Voilà pour les preuves expérimentales de l'effet Doppler et passons à son application à l'astronomie. Un article de Fizeau, bien connu de tous les physiciens pour ses mesures de la vitesse de la lumière, joua un rôle décisif sur ce point. Présenté à la Société Philomathique en 1848, il ne parut toutefois intégralement qu'en 1870. Le compte rendu de l'expérience sur le son, citée plus haut, y figure. Passant ensuite à la lumière, Fizeau propose l'emploi de lignes spectrales bien définies pour donner les fréquences dont on mesurera la modification et conseille d'observer leur déviation avec un spectroscope prismatique. Il calcule que dans le cas d'une ligne avoisinant le sodium D, une vitesse égale à celle de Vénus produirait une déviation de 2,65″, qu'on pourrait doubler en tournant le prisme de 180° et déclare spécifiquement qu'il serait possible de mesurer la vitesse radiale des étoiles lointaines de cette façon. Il n'oublie pas les difficultés pratiques: la lumière de l'étoile étant faible, il faudrait un prisme couvrant l'objectif en entier et un prisme homogène de cette taille serait difficile à obtenir. Sa conclusion, «Il est donc permis d'espérer que ce genre d'observation sera possible et que l'expérience pourra prononcer sur la réalité des phénomènes indiqués», fait nettement entrevoir la méthode correcte d'application de l'effet à l'astronomie, à la différence des affirmations impossibles de Doppler, qui d'ailleurs n'est pas mentionné par Fizeau. Signalons que Belopolski, entre autres, appelle la loi en question, principe Doppler-Fizeau.

Les premières applications pratiques en astronomie furent publiées par Sir William Huggins [11] en 1868. Après consultation avec Clerk Maxwell, il fit des mesures de Sirius, choisi l'étoile la plus brillante des cieux et, utilisant la ligne F de l'hydrogène, calcula d'après son déplacement que l'astre s'éloigne à la vitesse de 46 km/sec environ. Cela se passait avant l'application de la photographie à la spectroscopie et on relevait la position de la ligne à l'aide d'un micromètre. L'année suivante, il mesura la vitesse radiale de plusieurs autres étoiles de cette façon, se rapprochant ou s'éloignant du Soleil. Les mesures n'étaient pas très exactes au point de vue moderne, mais elles mettaient au point la méthode, ce qui était important. Les premiers résultats valables furent obtenus par H. C. Vogel [12] en 1888 par la méthode photographique. Depuis, les progrès remarquables du télescope, du spectroscope et de la plaque photographique ont permis beaucoup

plus de précision et des vitesses d'un km/sec sont mesurables. Le déplacement radial de plusieurs milliers d'étoiles a été enregistré et on a longuement cherché dans le déplacement vers le rouge des spectres de nébuleuses la preuve de l'expansion de l'univers. Dans le cas des nébuleuses les plus distantes, la vitesse d'éloignement relevée est un peu supérieure à $\frac{1}{5}$ de celle de la lumière, de sorte que le changement de longueur d'onde est supérieur à 20% et entraîne une modification marquée de couleur telle que Doppler prévoyait chez les étoiles.

L'effet Doppler a été aussi appliqué à la rotation du Soleil (figure 2). On a constaté que les lignes spectrales de la lumière du côté est sont plus près du violet que celles du côté ouest, ce qui prouve nettement une rotation faisant s'approcher l'est pendant que l'ouest s'éloigne. Le déplacement est très faible, la différence entre la lumière d'origine orientale et celle d'origine occidentale n'étant qu'1/75 000e de la longueur d'onde de la ligne en question, ce qui correspond à une vitesse d'approche et d'éloignement d'environ 2 km/sec ou une rotation en 25 jours (figure 2). La lumière solaire permet une dispersion plus grande que celle des étoiles, augmentant ainsi considérablement le degré de précision. On a mesuré cette rotation à des latitudes diverses avec des résultats très intéressants. La méthode a été employée aussi pour les anneaux de Saturne et d'autres planètes.

On a découvert également la nature des étoiles doubles par l'effet Doppler, constaté dans leur lumière quand les deux astres sont trop proches pour être distingués au télescope. Il est évident que les variations périodiques des déplacements Doppler donnent la période de ces étoiles, appelées doubles spectroscopiques. Mizar (ζ de la grande Ourse), trouvée par E. C. Pickering [13] en 1889, fut la première dont on annonça la découverte, avec une période de 104 jours. On connaît aujourd'hui des milliers de doubles spectroscopiques et certaines ont des périodes inférieures à un jour. Voilà le rôle considérable joué par l'effet Doppler en astronomie moderne.

Une importante application terrestre du principe Doppler en ce qui concerne la lumière fut démontrée en 1905 par Johannes Stark [14], quand il obtint l'effet en question avec les rayons canaux (positifs) d'un tube à décharge d'hydrogène. Il constata que lorsque l'observation était faite dans une direction normale à celle des rayons, les lignes Balmer du spectre de l'hydrogène avaient leur fréquence et leur caractère habituels; mais si les rayons se dirigeaient dans la direction du spectroscope ou en sens inverse, les lignes Balmer s'élargissaient vers le violet ou vers le rouge respectivement. Tout se passait donc comme si les particules en mouvement émettaient les lignes, la nature continue de l'élargissement étant due au fait qu'en raison des collisions, les particules ont toutes les vitesses possibles jusqu'au maximum. L'étendue de l'élargissement permet de déterminer la valeur maximum de la vitesse des particules lumineuses, qui est inférieure à ce qu'on attendrait du potentiel employé en supposant une accélération sans obstacle. L'effet Doppler est prononcé car il est facile d'atteindre dans le tube à décharge des vitesses de quelques millièmes de celle de la lumière.

Des recherches poussées furent effectuées par Stark et, entre autres, Rau, sur l'effet dans divers gaz, recherches qui fournirent à l'époque, des renseignements importants sur l'état électrique des atomes émetteurs de lignes spectrales par arc et étincelles et des molécules émettrices de spectres à bandes. Quand Stark reçut le Prix Nobel en 1919, l'éloge parla surtout de son étude «retentissante» de l'effet Doppler dans les rayons canaux, l'effet Stark étant cité en supplément.

Dans tout gaz lumineux, l'agitation thermique normale implique un mouvement en toutes directions des atomes ou molécules intéressés et il en résultera un effet Doppler, se manifestant par un élargissement de la ligne en question, qui sera symétrique à cause du nombre égal de sources s'approchant et s'éloignant. L'effet sera cependant très faible puisque la vitesse moyenne à 100° d'un atome d'hydrogène, par exemple, est 1/100 000e environ de celle de la lumière. Pour mesurer l'effet plus exactement, on emploie ce qu'on appelle la largeur de demi-intensité. Pour donner une idée de sa valeur, à 300° l'élargissement Doppler défini ci-dessus d'une ligne D de sodium est d'environ 0,02 Å ou 1/300e de la distance entre les lignes D. Cette mesure est aisée avec la technique spectroscopique moderne. En raison du poids atomique moindre, les lignes de l'hydrogène dans les mêmes conditions sont plus larges. Pour le travail spectroscopique de haute précision, on accentue les lignes en plaçant le tube dans de l'air liquide. A l'extrémité opposée, l'effet Doppler a été mis en relief par la fameuse machine ZETA, où on s'en est servi pour mesurer la température de la décharge [15]. La largeur des lignes dans ce cas est de l'ordre d'un Å.

Dans un domaine tout différent, celui de l'aviation où la mesure de la vitesse par rapport au sol a toujours présenté de grandes difficultés, l'effet

Doppler a récemment été employé avec grand succès. Les anciens instruments donnent la vitesse par rapport à l'air et, la vitesse locale du vent étant rarement connue avec exactitude, sont incapables de fournir le renseignement précis désiré. L'expérience des diapasons de König où un mouvement de vitesse égale à un millième de celle du son produit une altération sensible dans la fréquence des battements, donne le nouveau principe. Supposons qu'un avion émette deux faisceaux d'ondes radioélectriques, l'un en avant et l'autre en arrière, dirigés vers le bas de façon à être réfléchis (ou, plus exactement, dispersés et renvoyés) à une distance raisonnable vers leur source. L'effet Doppler dû au déplacement de la source rendra la fréquence du faisceau réfléchi en avant un peu supérieure, et celle du faisceau réfléchi à l'arrière un peu inférieure, à celle de l'onde émise, l'ampleur du changement de fréquence étant proportionnelle à la vitesse de l'appareil. Ces deux fréquences légèrement différentes reçues par l'avion produiront par leur interaction une oscillation de fréquence relativement basse. Avec les méthodes modernes d'emploi des instruments, dont une roue phonique, la périodicité de cette oscillation à basse fréquence régit étroitement la vitesse de révolution d'un moteur qui, grâce à un autre mécanisme ingénieux, renseigne immédiatement le pilote sur la vitesse par rapport au sol et la distance parcourue.

Un exemple numérique serait utile. La fréquence de l'onde émise par une installation Marconi réelle est de 8 800 Mc/s. Puisqu'il y a réflexion, l'effet dû au déplacement de l'avion, qui est à la fois source et récepteur, est multiplié par deux. D'autre part, si le faisceau se dirige vers le sol à un angle de 60° par rapport à l'horizontale, ce qui est à peu près l'angle employé, la vitesse de l'appareil volant horizontalement, décomposé le long du faisceau, sera diminuée de moitié, de sorte qu'il suffit d'envisager l'effet normal dû au déplacement d'une source en direction d'un récepteur fixe. Si la vitesse de l'appareil est de 540 km/heure, c'est-à-dire 2 millionièmes environ de celle de la lumière, l'augmentation de fréquence du faisceau avant réfléchi sera 8 800/2 = 4 400 c/s et la diminution de fréquence du faisceau arrière réfléchi sera aussi 4 400 c/s si bien que la meilleure fréquence sera 8 800 c/s, celle d'une note audible élevée, cinq octaves environ au-dessus du *do* du milieu du piano. C'est une note suffisamment basse pour contrôler la fréquence de rotation d'un moteur phonique faisant travailler le mécanisme.

Dernière application moderne de l'effet Doppler: on s'en sert pour repérer les satellites faisant le tour du globe. L'émetteur renfermé dans le satellite envoie une onde continue de fréquence fixe, dont les modifications relevées par l'observateur sont utilisées de la façon récemment décrite dans ENDEAVOUR [16].

L'histoire du principe Doppler est donc pleine d'imprévus. Il fut énoncé voici plus d'un siècle dans le seul dessein d'expliquer la couleur des étoiles, mais les conclusions tirées des constatations rassemblées pour le démontrer, étaient entièrement fausses. Quelques décennies plus tard, on découvrit qu'il avait des applications astronomiques dont l'importance n'a fait que croître et il est passé dernièrement au rang de preuve maîtresse de l'expansion de l'univers. Les manuels de physique le citent surtout à propos du son, application dont la vie courante offre beaucoup d'exemples, et, enfin, les douze ou treize derniers mois l'ont vu utilisé dans les tentatives remarquables de démonstration d'une réaction de fusion nucléaire, de perfectionnement de la navigation aérienne et de repérage de satellites artificiels. Le modeste Autrichien serait stupéfait de l'importance acquise par des travaux qui, de son temps, ne suscitèrent qu'un intérêt limité.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DOPPLER, C. *Abh. Böhm. Wiss.* (v), **2**, 465, 1843.
[2] YOUNG, T. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **92**, 12, 1802.
[3] BUYS-BALLOT, C. H. D. *Pogg. Ann.*, **66**, 321, 1845.
[4] RUSSELL, J. S. *Brit. Assn Rep.*, **18**, 37, 1848.
[5] VOGEL, H. C. *Pogg. Ann.*, **158**, 287, 1876.
[6] FIZEAU, H. *Ann. Chim.* (*Phys.*) (IV), **19**, 211, 1870.
[7] KÖNIG, K. R. «Catalogue des appareils d'acoustique». Paris, 1865.
[8] BELOPOLSKI, A. *Astrophys. J.*, **15**, 15, 1901; *Bull. Acad. Sci. St. Péters.*, **13**, 462, 1900.
[9] GALITZIN, B. et WILIP, J. *Astrophys. J.*, **26**, 49, 1907.
[10] FABRY, C. et BUISSON, H. *J. Phys.*, **9**, 243, 1919.
[11] HUGGINS, W. *Phil. Trans. roy. Soc.*, **158**, 529, 1868.
[12] VOGEL, H. C. *Astr. Nachr.*, **119**, 97, 1888.
[13] PICKERING, E. C. *Amer. J. Sci.*, **39**, 46, 1889.
[14] STARK, J. *Phys. Z.*, **6**, 893, 1905.
[15] ALLEN, J. E. *Endeavour*, **17**, 117, 1958.
[16] BURT, E. G. C. *Ibid.*, **17**, 216, 1958.

La surface des plantes

par B. E. JUNIPER

Le degré de rétention des liquides sur les surfaces des feuilles a une importance pratique considérable; ainsi, l'efficacité des produits chimiques appliqués aux feuilles peut en définitive dépendre de cette caractéristique. La microscopie électronique a permis de résoudre l'infrastructure qui détermine pour une grande part la capacité d'humidification.

L'intérêt pour le comportement des liquides sur les feuilles a été stimulé par l'emploi croissant des pulvérisations en agriculture et particulièrement par la découverte des herbicides du type régulateur de croissance. La raison des différences de sensibilité à l'égard de ces herbicides hormonaux peut être due au fait que certaines plantes ne retiennent pas les gouttelettes à leur surface et par conséquent ne les absorbent pas.

Le degré d'humidification peut être mesuré par l'angle de contact entre la surface liquide-air et la surface solide. L'humidification d'un solide par un liquide dépend non seulement de l'interaction entre les molécules liquides et les groupements chimiques se trouvant sur la surface solide mais aussi de la texture de cette surface [1]. L'angle de contact le plus élevé pour une surface plane d'une substance naturelle n'est probablement pas supérieur à 105°. Toutefois, de nombreuses plantes semblent avoir sur leurs feuilles et d'autres surfaces des angles de contact bien plus ouverts. L'angle peut varier considérablement d'une partie à l'autre de la plante et peut aussi être sujet à des modifications diurnes [2].

Dans la majorité des espèces, la rugosité superficielle responsable du grand angle de contact se trouve au-delà de la résolution du microscope à lumière ordinaire et on a tenté d'utiliser le microscope électronique. Pour examiner au microscope électronique un objet aussi solide qu'une feuille, il convient d'utiliser une réplique de la surface. Il faut réaliser un moulage négatif de la surface en matière transparente et inerte à l'égard du faisceau électronique. Ce moulage (réplique négative) peut être examiné directement, sinon l'on peut faire un moulage de cette réplique négative ayant l'épaisseur requise et examiner au microscope cette réplique positive. Pour faire les répliques de surface, on emploie notamment certains plastiques [3–5].

Cette technique impose la nécessité d'humidifier la surface de la feuille, ce qui, toutefois, peut être évité en faisant la réplique négative en carbone évaporé [6]. Le carbone est complètement inerte, non-cristallin, peut reproduire des détails jusqu'au niveau du mμ et peut être employé pour reproduire des surfaces biologiquement «humides» chose impossible avec les plastiques conventionnels. Cette technique permet de faire soit une pseudo- soit une vraie réplique. Dans le premier cas, des parties de la surface originale restent enrobées dans la couche de carbone (figures 1 et 3), dans le dernier (figure 2), il n'y a qu'une vraie réplique se composant uniquement de carbone. L'une ou l'autre des images peut être aisément interprétée.

Les répliques révèlent sur de nombreuses plantes d'infimes projections de la surface du cuticule. Ces projections sont présumées être de la cire expulsée hors du cuticule; elles sont de multiples formes différentes qui dépendent peut-être de l'espèce, du genre ou même de la famille; mais, quoique A. de Bary [7] ait déjà en 1871 groupé les types de structures cireuses trouvés sur les feuilles, aucune classification n'a encore paru possible avec cette technique. Toutes les formes de *Brassica oleracea* présentent un aspect très voisin (figure 1). Le petit pois (figure 21) ressemble au lupin blanc (figure 4), mais cela est vrai aussi pour le perce-neige, *Galanthus nivalis* (figure 9) qui n'est pas du tout de la même famille. D'un autre côté, le *Chrysanthemum segetum* (figure 3) ne ressemble pas du tout à d'autres espèces de *Chrysanthemum*.

L'ultra-structure superficielle n'est pas nécessairement la même dans toute la plante. Les figures 21, 11 et 12 montrent les surfaces abaxiale et adaxiale d'un pois et celle de sa tige, et les figures 5 et 8 les surfaces de feuille et de tige de *Kleinia articulata*. En règle générale, les feuilles des cotylédons sont lisses, même chez les plantes qui ont une structure superficielle très complexe pour d'autres organes. Le degré élevé de résistance aux herbicides que possède le *Chrysanthemum segetum* peut être dû à la présence de projections cireuses sur toutes les parties aériennes de la plante comprenant

FIGURE 1 – *Surface adaxiale de* Brassica oleracea var. capitata.

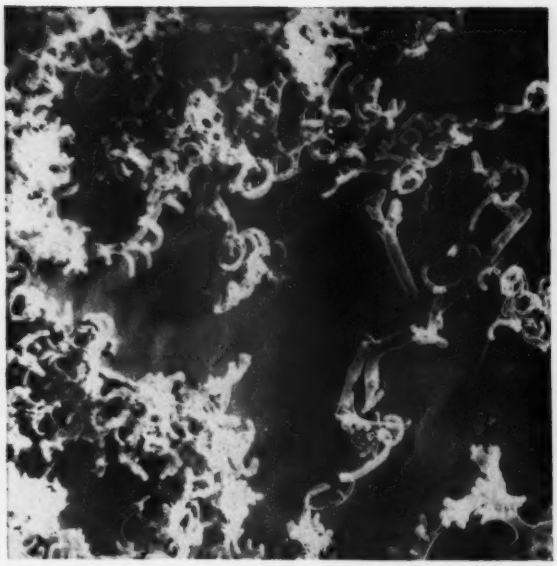


FIGURE 3 – *Surface adaxiale de* Chrysanthemum segetum.

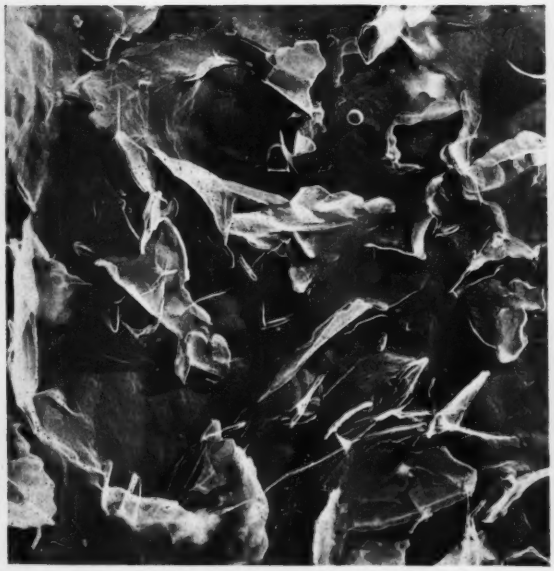


FIGURE 2 – *Surface adaxiale de* Hyacinthus orientalis.

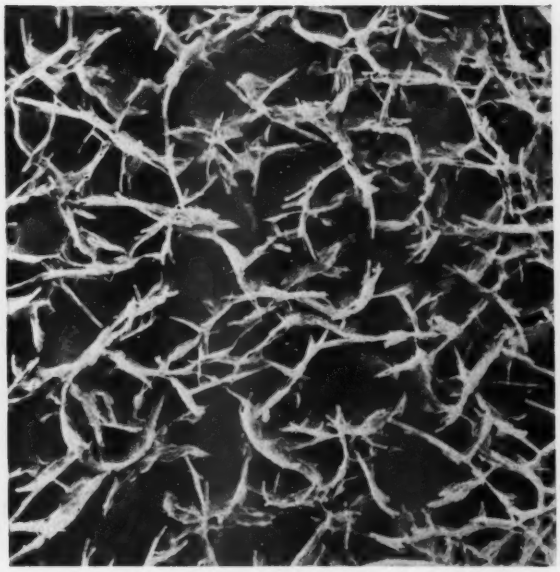


FIGURE 4 – *Surface adaxiale de* Lupinus albus.

Répliques en carbone des surfaces de feuilles. (× 10850)

FIGURE 5 – *Surface adaxiale de feuille de* Kleinia articulata.

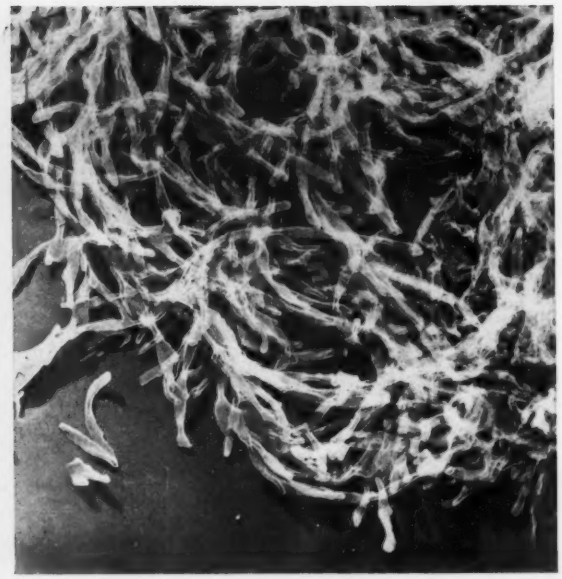


FIGURE 8 – *Surface de tige de* Kleinia articulata.

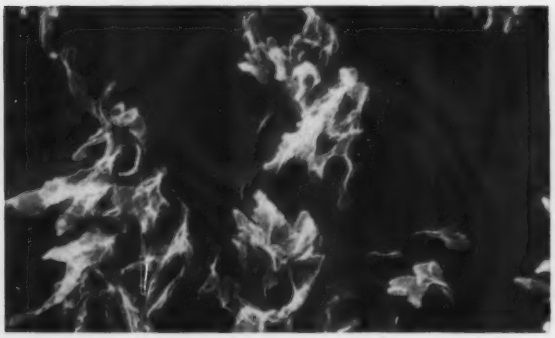


FIGURE 6 – *Comme en* 5, *après une immersion d'une seconde dans l'eau distillée.*

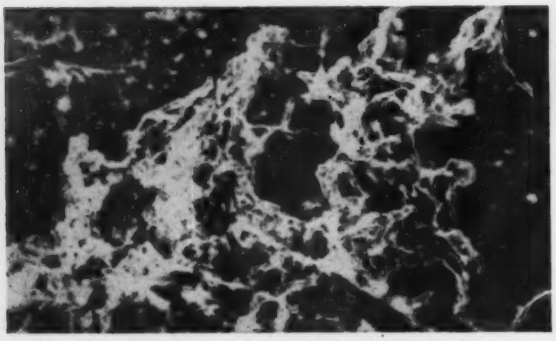


FIGURE 7 – *Comme en* 5, *après une immersion de dix secondes dans l'eau distillée.*

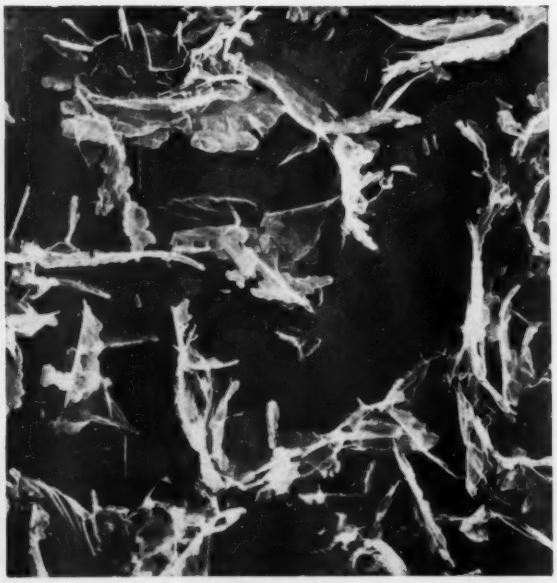


FIGURE 9 – *Surface adaxiale de feuille de* Galanthus nivalis.

REMERCIEMENTS

Nous prions Miss Joan Sampson d'accepter notre gratitude pour avoir réalisé les microphotographies électroniques ainsi que Sir Paul Fildes, F.R.S. pour avoir autorisé l'utilisation du microscope électronique du *Sir William Dunn School of Pathology* à Oxford.

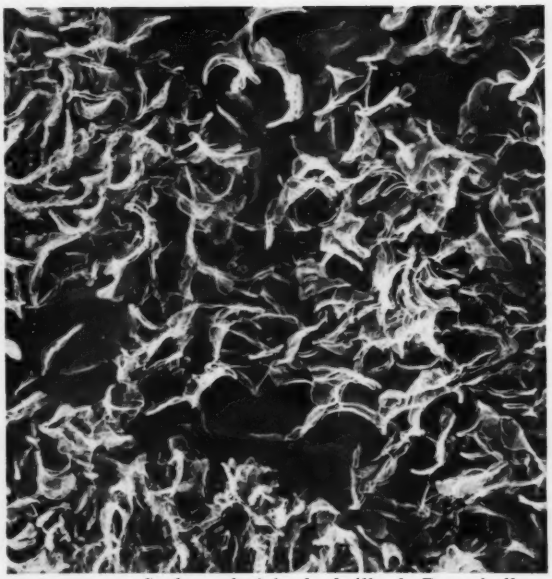


FIGURE 10 – *Surface adaxiale de feuille de* Bryophyllum tubiflorum.

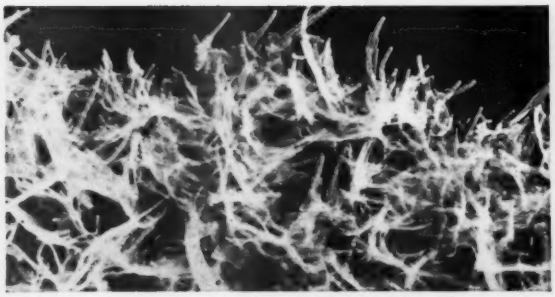
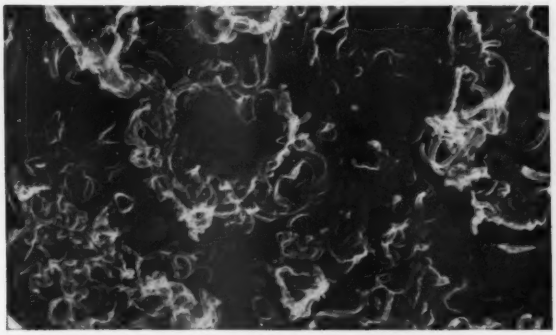


FIGURE 13 – *Surface adaxiale de feuille de* Lupinus albus *(réplique pliée).*



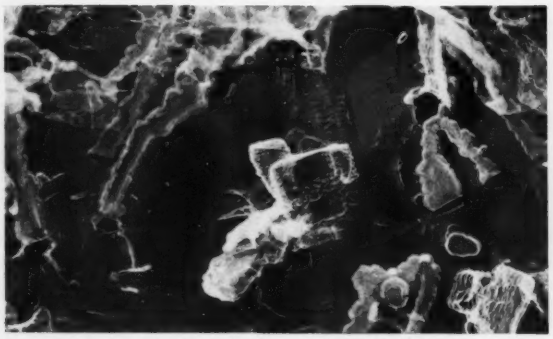
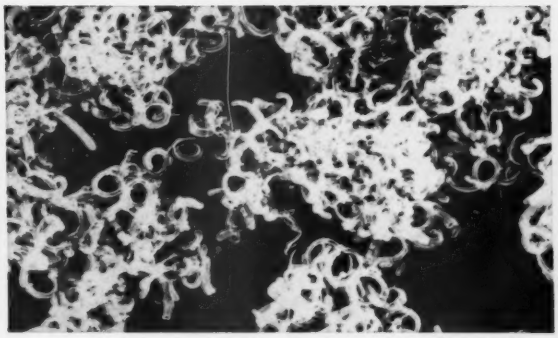


FIGURE 11 – *Surface abaxiale de feuille de* Pisum sativum.



FIGURES 14 *(en haut) et* 15 – *Surfaces adaxiales de feuilles de* Chrysanthemum segetum *immédiatement après brossage, et sept jours après.*

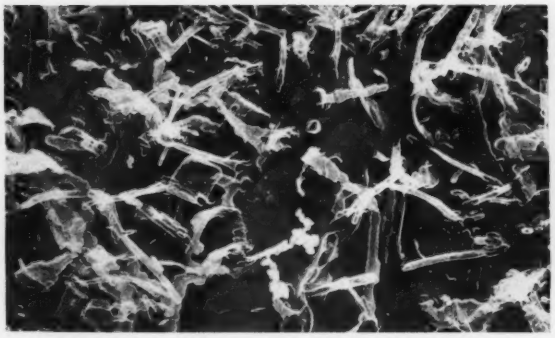


FIGURE 12 – *Surface de tige de* Pisum sativum.

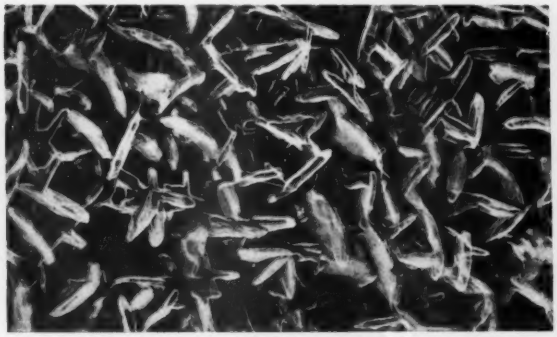


FIGURE 16 – *Surface adaxiale de* Pisum sativum *cultivé sous courant d'air avec une vitesse de vent atteignant* 40 *km à l'heure.*

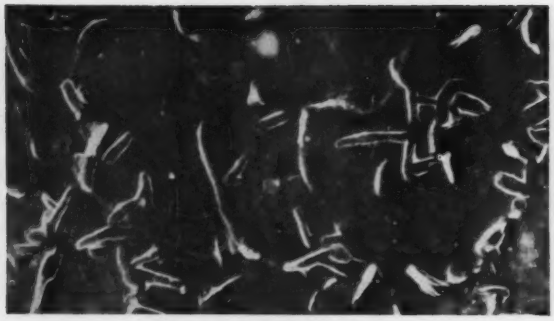


Figure 17

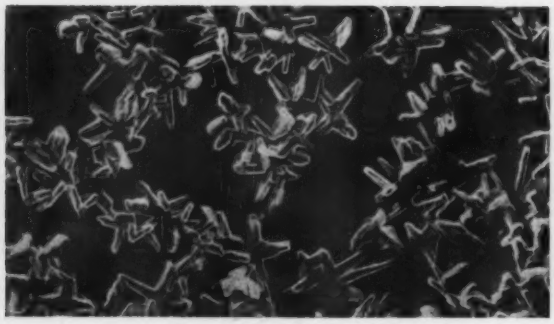


Figure 18

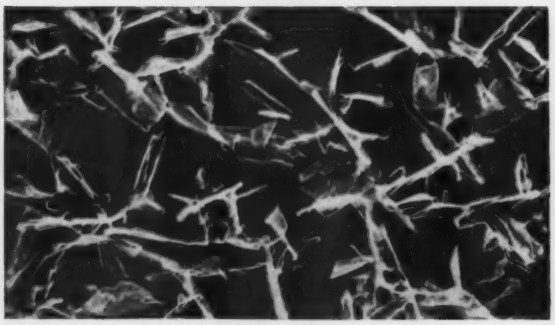


Figure 19

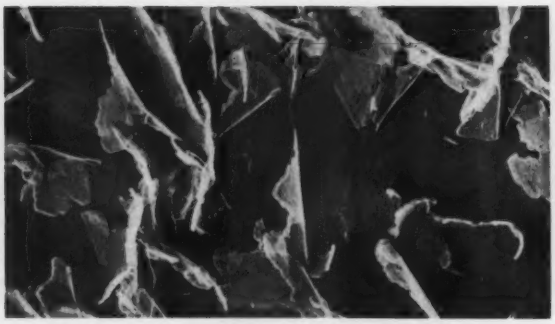


Figure 20

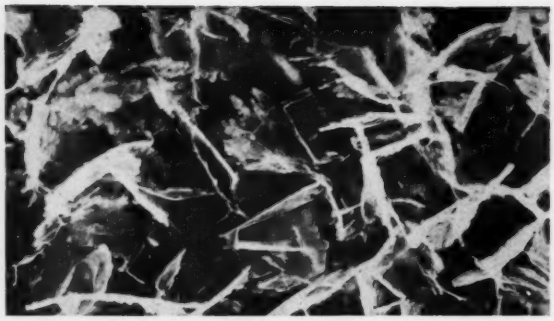


Figure 21

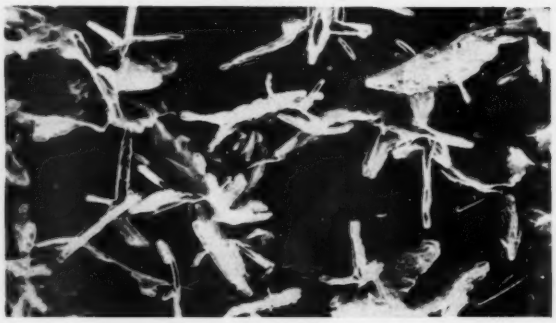


Figure 22

Figure 23

Figure 24

FIGURES 17–20 – Pisum sativum *cultivé à l'obscurité jusqu'au second stade foliaire. Fig.* 17: 24 *heures après le transfert à la lumière. Fig.* 18: 48 *heures après transfert. Fig.* 19: 72 *heures après transfert. Fig.* 20: 7 *jours après transfert.*

FIGURES 21–24 – Pisum sativum. *Fig.* 21: *Cultivé sous une intensité lumineuse de* 54 000 *lux. Fig.* 22: *Sous* 16 000 *lux. Fig.* 23: *Sous* 9 700 *lux. Fig.* 24: *Cultivé à l'obscurité.*

les cotylédons, les pétioles, les tiges et les deux surfaces des feuilles. Un autre facteur pourrait être son aptitude à se remettre des effets de dommages mécaniques. La figure 14 montre une surface adaxiale immédiatement après brossage. La figure 15 montre une feuille correspondante sept jours après un traitement similaire: ses projections cireuses ont réapparu.

Dans les conditions normales, les surfaces ne sont pas endommagées habituellement aussi gravement. Les surfaces telles que celles représentées sur les figures 3, 4 et 21 sont modérément ou extrêmement résistantes à l'action atmosphérique et les feuilles conservent des angles de contact élevés jusqu'à la sénescence. D'autre part, des surfaces comme celles des figures 1, 2, 5 et 10 sont très facilement endommagées et ne peuvent rester que quelques jours sans s'humidifier. La cause est en général un simple dommage mécanique, cassure ou aplatissement des très petites projections, mais les figures 6 et 7 montrent le rôle de l'immersion en eau distillée, respectivement pendant une et dix secondes sur une feuille de *Kleinia articulata*. Les surfaces des autres plantes représentées ne semblent pas être atteintes de cette manière par l'eau. L'action indirecte d'autres changements du milieu peut être tout aussi frappante. Les figures 21 à 24 montrent l'influence d'une diminution d'intensité lumineuse sur les surfaces de feuilles de pois. L'angle de contact diminue en conjonction avec la diminution du développement cireux de la surface et ceci peut aider à expliquer la sensibilité accrue des herbes qui poussent à l'abri des récoltes et sont pulvérisées après la moisson. Une autre modification due au milieu apparaît sur les feuilles qui, soumises à des vents très forts, semblent développer une couche compacte et plus dense de projections cireuses (comparer la figure 16 avec la figure 21).

Un certain nombre de composés, par exemple l'acide trichloracétique, sont employés en agriculture pour le traitement du sol avant la germination et ont pour effet d'augmenter la sensibilité de certaines herbes à l'égard des herbicides. L'examen au microscope électronique révèle que les projections cireuses diminuent de taille avec une concentration croissante du produit et présentent une surface qui est moins imperméable à l'eau [8].

Le mode de développement de ces projections est difficile à comprendre. Un certain nombre de surfaces ont des projections portant des marques annulaires qui suggèrent une croissance par phases (figures 1 et 11). Puisqu'il est impossible de faire des répliques de feuilles plus petites qu'environ 3 mm, une étude du développement de la surface à partir du stade primordial n'est pas encore possible. Les plus jeunes feuilles qui puissent être étudiées ont des surfaces semblables à celles des feuilles arrivées à maturité. Pour se faire quelque idée de l'évolution du développement de la cire sur une surface, on peut faire croître des pois à l'obscurité jusqu'au second stade foliaire. A l'obscurité, il ne se forme pas de projections cireuses, mais celles-ci se développent très rapidement dès le transfert à la lumière (figures 17–20). La transition d'un stade à l'autre est difficile à expliquer parce que nous devons présumer une continuelle réorganisation de la surface. De plus, aucunes ouvertures ou pores pouvant donner passage à des projections, comme celles des figures 2 ou 8, n'ont jamais pu être constatées au microscope électronique. Ces projections ont dû être expulsées sous forme liquide.

Il y a accord complet entre la présence de telles projections sur les surfaces telles qu'on les voit au microscope électronique et les angles de contact supérieurs à 105° enregistrés sur ces surfaces, quoique ces valeurs élevées puissent ne pas être permanentes. Une impression de la coupe transversale d'une feuille à ce niveau de résolution est donnée figure 13. Dans ce cas, afin d'obtenir une vue rasante, la pellicule de carbone a été courbée et photographiée à angle droit par rapport au plan normal de visée. Ceci montre comment une gouttelette doit être écartée de la paroi cellulaire par les projections.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ADAM, N. K. *Endeavour*, **17**, 37, 1958.
[2] FOGG, G. E. *Proc. roy. Soc., B*, **134**, 503, 1947.
[3] HOLDGATE, M. W., MENTER, J. W. et SEAL, M. Proceedings of the International Conference on Electron Microscopy, Londres. 1954.
[4] MUELLER, L. E., CARR, P. H. et LOOMIS, W. E. *Amer. J. Bot.*, **41**, 7, 1954.
[5] SCHIEFERSTEIN, R. H. et LOOMIS, W. E. *Plant Physiol.*, **31**, 3, 1956.
[6] BRADLEY, D. E. *Brit. J. appl. Phys.*, **5**, 65, 1954.
[7] DE BARY, A. *Bot. Ztg*, **29**, 9, 10, 1871.
[8] JUNIPER, B. E. *New Phytol.* (Sous presse.)

Le paléomagnétisme et les directions des vents aux époques anciennes

par N. D. OPDYKE et S. K. RUNCORN

L'étude de la direction de magnétisation des roches montre que les distances des continents et leurs orientations par rapport au pôle magnétique ont changé. Il est à souhaiter que les résultats révélés par ces travaux soient confirmés. On a trouvé d'autre part que les calcaires éoliens ont, en quelque sorte, enregistré les directions des vents alizés qui soufflaient aux périodes contemporaines de leur formation. Les méthodes utilisées et la mesure où elles se confirment mutuellement, sont discutées dans cet article.

Dans un précédent article d'ENDEAVOUR [1] S. K. Runcorn a décrit les développements de l'étude du magnétisme des roches au cours de ces dernières années. La preuve a été donnée qu'à l'époque de leur formation, certaines roches en fusion, principalement les laves, et quelques sédiments, en particulier les grès rouges, ont acquis une aimantation qui, depuis, n'a pas changé de façon appréciable. L'aimantation d'un ensemble de roches d'âge géologique particulier présente une continuité remarquable sur des centaines de kilomètres et on a lieu de penser que cette aimantation rémanente indique la direction principale du champ géomagnétique durant cette période, compte tenu de tout changement d'orientation des roches survenu depuis leur formation. En Grande-Bretagne, où un examen détaillé et à grande échelle a été effectué, on a trouvé qu'une évolution graduelle de la direction moyenne du champ s'est produite au cours des époques géologiques et qu'au Cénozoïque seulement (les derniers soixante millions d'années), cette direction coïncide avec celle d'un champ symétrique autour de l'axe actuel de rotation de la Terre.

Aujourd'hui, le champ magnétique terrestre est à peu près — pas exactement — celui d'un petit aimant de grande puissance, un dipôle, placé au centre de la Terre et orienté de telle façon que son axe coïncide avec l'axe géographique. On sait, d'après les observations qui se sont succédées au cours de l'histoire, que le champ varie irrégulièrement, et, à partir de ces seules observations, on pourrait supposer qu'il y a plus de mille ans, le champ moyen était beaucoup plus voisin de celui d'un dipôle axial qu'il ne l'est actuellement; la théorie du champ géomagnétique donne des arguments en faveur de cette hypothèse. Par conséquent, il est possible de déterminer, à partir de la direction moyenne d'aimantation d'une formation rocheuse, considérée sur une épaisseur suffisante pour neutraliser les effets de la variation séculaire, les positions des pôles par rapport au site au cours des époques géologiques correspondantes.

La détermination de la position du pôle est un pas très important dans l'étude du magnétisme des roches et il est désirable d'expliquer comment est effectuée cette détermination. La figure 1 montre la direction, à la surface de la Terre, du champ d'un dipôle placé en son géocentre. L'inclinaison est l'angle de la direction du champ avec le plan horizontal; elle varie de zéro à l'équateur à 90° au pôle. Une formule simple donne la relation entre l'inclinaison et la latitude (λ). Après correction

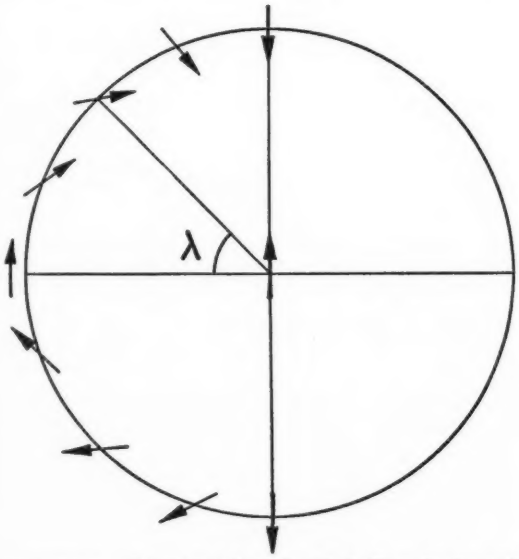


FIGURE 1 – *Direction à la surface de la Terre du champ dû à un dipôle placé en son centre* [11].

pour le changement géologique d'orientation, on trace le grand cercle de direction de magnétisation de la roche. A partir de la latitude, on détermine facilement la position du pôle sur ce grand cercle.

L'examen des directions paléomagnétiques aux différentes époques géologiques et pour différents continents est très avancé actuellement. Au moment où fut écrit l'article signalé plus haut [1], on avait montré qu'en Grande-Bretagne, au cours des périodes géologiques successives, les positions du pôle se trouvaient sur une courbe relativement régulière, et qu'elles se rapprochaient d'autant plus du pôle actuel que leur âge diminuait. Ceci peut être interprété, soit par un mouvement de la Grande-Bretagne par rapport au reste de la Terre, soit par un mouvement de l'axe de rotation par rapport à la Terre. Ce dernier, appelé migration des pôles, apparaîtrait probablement si des mouvements internes se produisaient dans le manteau de la Terre et si la forme sphéroïde de la Terre pouvait adopter, au cours de périodes de l'ordre de quelque millions d'années, une forme appropriée à chaque nouvelle position de l'axe de rotation. Il semblait donc possible que les résultats relatifs à l'aimantation des roches puissent s'expliquer par la seule migration des pôles.

Les courbes de migration des pôles obtenues par l'étude d'autres continents devraient, dans ce cas, concorder. Bien que celle de l'Amérique du Nord présentât une forme identique à celle de la courbe européenne, Runcorn [2] a montré que la courbe américaine se déplaçait vers l'ouest par rapport à l'européenne d'une manière significative, comme le montre la figure 3 [3]. Ainsi, il apparaît qu'au Mésozoïque, l'Amérique du Nord s'est déplacée d'environ 20° vers l'ouest par rapport à l'Europe. Un tel mouvement relatif des continents, probablement sur le fond basaltique des océans, a été à la base de la théorie de la dérive continentale, avancée depuis longtemps par certains géologues.

Récemment E. Irving et R. Green [4] ont montré que, pour l'Australie, la courbe de migration des pôles est très éloignée de celles de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Cette courbe traverse l'Afrique du Nord et rejoint le pôle actuel par l'Atlantique Nord. Ces différences sont plus compréhensibles quand on sait qu'en général les résultats paléomagnétiques donnent les valeurs de la latitude des différents continents à l'époque de formation des ensembles rocheux; ces valeurs, contrairement à celles des latitudes actuelles, ne contredisent pas les indications paléoclimatiques obtenues en géologie. En Australie, par exemple, Irving et Green trouvent que les seuls moments pendant lesquels l'Australie est proche du pôle se situent, d'après les données paléomagnétiques, au Permien-Carbonifère et au Pré-Cambrien ancien, tandis que l'évidence géologique indique que l'Australie est soumise à des glaciations étendues, comme le montre la figure 2. De la même façon, les grands déserts du Paléozoïque ancien et du Mésozoïque en Amérique du Nord et dans le Nord de l'Europe ont été confirmés d'après le paléomagnétisme par des aimantations à peu près horizontales, d'où l'on déduit une position voisine de l'équateur (figure 13).

On peut se demander s'il est possible de rendre compte de la valeur des résultats déduits des mesures paléomagnétiques en ce qui concerne les directions du champ magnétique dans des étendues considérables. Il n'existe pas autant de mesures qu'on le souhaiterait. Presque toutes les formations rocheuses qui ont été étudiées s'étendent sur quelques centaines de kilomètres et il est certain que les directions paléomagnétiques se prolongent au-delà de ces domaines. Cependant il est beaucoup plus intéressant de chercher si les mesures paléomagnétiques sur des formations rocheuses de même âge d'un continent entier conduisent à placer les pôles aux mêmes endroits. Notons ici que la courbe de migration du pôle indique un mouvement de celui-ci d'environ un tiers de degré par million d'années, et par conséquent au cours d'une période géologique il est tout à fait plausible que le mouvement du pôle (mise à part la variation séculaire qu'on suppose aplanie dans tous les cas) puisse conduire à des différences de 20 à 30 degrés dans les directions paléomagnétiques de roches de même période géologique. Malheureusement les roches utilisées jusqu'à présent en paléomagnétisme sont celles dans lesquelles les fossiles sont peu abondants et par conséquent la détermination de leur âge géologique, à beaucoup moins d'une époque près, semble assez difficile. Cependant le Triasique supérieur des Etats-Unis fournit un exemple pour lequel il y a accord entre les positions du pôle dans différentes régions très étendues comme le montre la figure 14.

On verra que l'argument de base dans l'interprétation des études sur le magnétisme des roches est que le paléomagnétisme fournit une méthode directe d'établissement de la latitude d'un site au temps de la formation de ses roches. Les critères qui justifient la valeur des méthodes mettant en œuvre le magnétisme des roches dépendent de la possibilité de trouver des moyens indépendants de

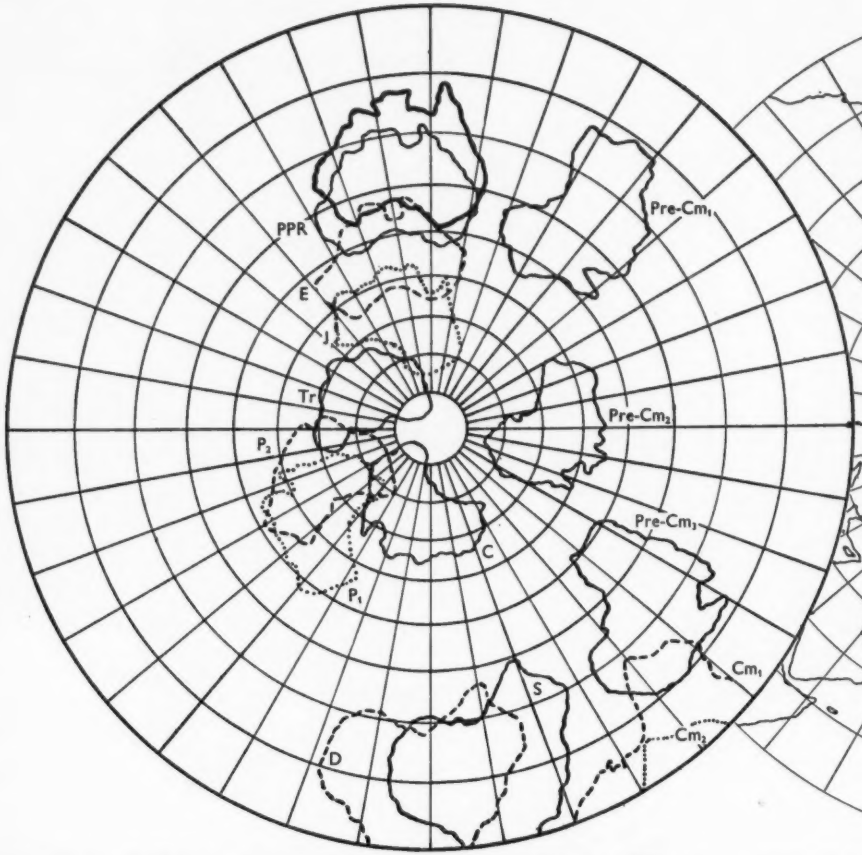


FIGURE 2 – *Positions de l'Australie par rapport au Pôle Sud aux différentes époques géologiques, déduites des indications paléomagnétiques. Le contour en trait plein indique la position actuelle de l'Australie* [12].

PPR	*Pliocène, Pléistocène et roches récentes*	C	*Carbonifère supérieur*
E	*Tertiaire inférieur, probablement Eocène*	D	*Dévonien, probablement Dévonien inférieur*
J	*Mésozoïque, probablement jurassique*	S	*Silurien supérieur*
Tr	*Triasique, probablement triasique inférieur*	Cm_2	*Cambrien moyen*
P_2	*Permien, successions marines supérieures*	Cm_1	*Cambrien inférieur*
P_1	*Permien, successions marines inférieures*	Pré-Cm_3	*Partie supérieure du Proterozoïque supérieur*
		Pré-Cm_2	*Proterozoïque supérieur*
		Pré-Cm_1	*Partie inférieure du Proterozoïque supérieur*

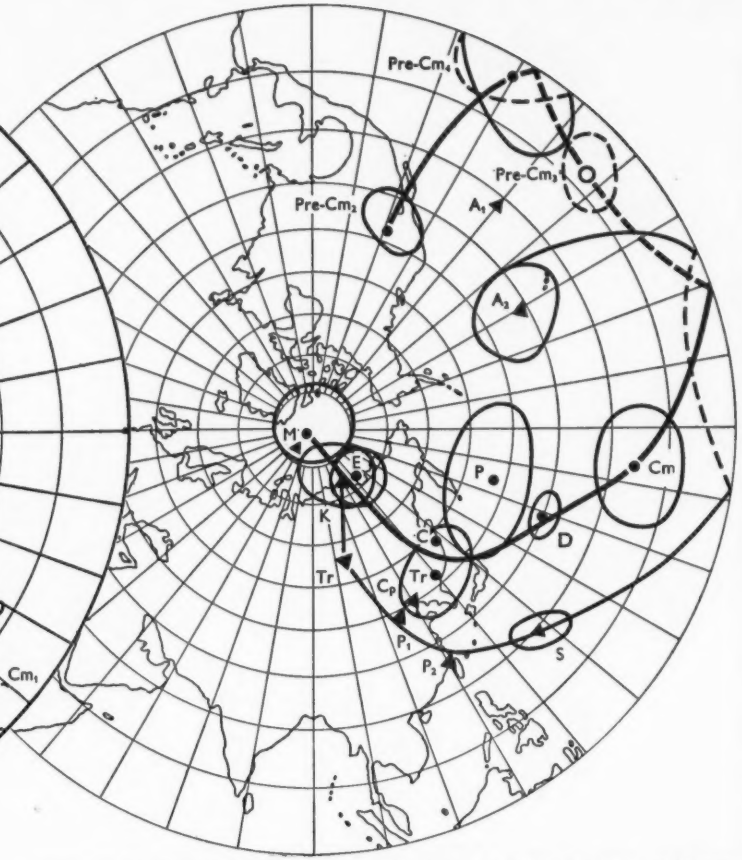


FIGURE 3 – *Courbes de migration des pôles pour l'Amérique du Nord et l'Europe* [3].

M	*Miocène*	Cp	*Carbonifère (Pennsylvanien)*
E	*Eocène*	D	*Dévonien*
K	*Crétacé*	S	*Silurien*
Tr	*Triasique*	Cm	*Cambrien*
P	*Permien*	Pré-Cm	*Pré-Cambrien*
C	*Carbonifère*	A	*Pré-Cambrien (Algonkien)*

Les triangles indiquent les pôles déterminés d'après les mesures sur roches américaines. Les points indiquent les pôles déterminés d'après les mesures sur roches britanniques. (Le cercle indique un pôle sur l'autre hémisphère.) Le trait fin indique le cheminement approximatif du pôle basé sur les roches américaines, le trait fort le cheminement basé sur les roches britanniques. (Le tireté correspond à l'autre hémisphère.)

Dans cette figure et dans la figure 14, les ovales sont les limites de certitude à 95%.

rieures

Dans cette figure et dans la figure 14, les ovales sont les limites de certitude à 95 %.

FIGURE 4 – *Dune de sable près de Kayenta, Arizona.*

FIGURE 5 (*en haut*) – *Grès de Wingate (Triasique), Colorado River Valley, près de Moab, Utah.*

FIGURE 6 – *Grès de Navajo (Jurassique), Mount Carmel Highway, Zion National Park, Utah.*

FIGURE 7 – *Grès de Weber (Pennsylvanien) dans Brush Creek Canyon, versant sud de Uintah Mountains, Utah. La taille d'un homme, dans le lointain, rend compte de l'échelle.*

FIGURE 8 – *Grès de Weber (Pennsylvanien) dans Sand Canyon, Dinosaur National Monument, Utah.*

FIGURE 9 – *Grès de Tensleep (Pennsylvanien) dans Tensleep Canyon, Wyoming. Photographie prise de l'est. Noter que les versants sous le vent s'abaissent vers le sud, indiquant que le vent soufflait du nord.*

FIGURE 10 – *Dunes de sable près de Kanab, Utah.*

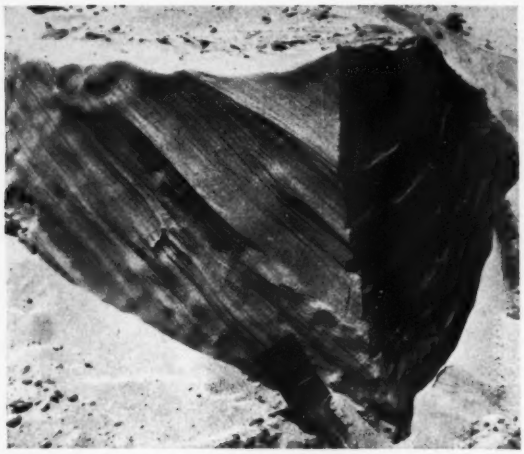


FIGURE 11 – *Coupe verticale à travers une dune de sable à Leupp, Arizona (d'après McKee). Le pinceau donne une idée des dimensions de la section.*

détermination de la latitude aux époques géologiques lointaines. L'étude des paléoclimats est la méthode la plus évidente.

Le mouvement de l'axe de rotation de la Terre par rapport aux masses continentales entraîne celles-ci dans la ceinture des vents alizés. Heureusement, les dunes de sable et les grès éoliens peuvent être, en fait, utilisés pour expliquer les directions des vents respectivement aux époques récentes et anciennes.

DUNES DE SABLE

On sait que dans les déserts dans lesquels l'apport de sable est limité, des dunes appelées barkhanes se forment sous l'action des vents de direction constante [5]. La figure 4 est une photographie d'une forme à peu près parfaite de ce type. De la face située du côté du vent, vers la droite, en pente douce, le sable est continuellement entraîné; lorsqu'il se dépose du côté sous le vent, il y a formation de pentes raides. L'ensemble, vu en plan, a l'aspect d'un croissant dont les pointes se trouvent du côté opposé au vent. Le long des pentes raides, le sable ne s'éboule pas lorsque l'angle de repos est atteint, c'est-à-dire 33° environ. La barkhane est la forme la plus simple mais si le sable est en quantité suffisante, les dunes transverses se forment. Elles apparaissent suivant des lignes sinueuses à pente raide du côté sous le vent, et rappellent les barkhanes. La figure 10 en donne un exemple.

Les couches successives de sable déposées au long de ces pentes sous le vent montrent de légères différences dans le tassement des grains de sable ou dans leur répartition par rapport à la taille et la couleur. Ainsi une coupe verticale à travers une dune de sable permet l'observation de la trace des différents lits. E. D. McKee [6] a effectué de telles observations dans une dune de sable de l'Arizona et la figure 11 a été tirée de son article.

Des mers de sable semblables ont été fossilisées dans le passé et se sont conservées dans les couches géologiques sous forme de grès éoliens. Dans ces grès, les traces des lits du côté sous le vent se sont conservées et peuvent être observées lorsque les roches ont subi une érosion naturelle ou encore dans les carrières et les tranchées routières ou ferroviaires. Il est possible de mesurer l'azimuth et l'angle d'inclinaison de la ligne de plus grande pente de ces lits plans. La moyenne des azimuths donne la direction moyenne du mouvement des dunes de sable et de là, la direction du vent. La dispersion des directions dépend de la courbure des pentes sous le vent des dunes et de la variation de la direction du vent.

Le processus de conservation d'une mer de dunes est semblable à celui de n'importe quel dépôt sédimentaire, c'est-à-dire qu'il y a abaissement du terrain par rapport au niveau de la mer et dépôt ultérieur de couches marines. Le sable est cimenté par des solutions siliceuses ou carbonatées l'imprégnant quelques millions d'années après le dépôt initial. Les cycles d'érosion éolienne se succédant, les dunes exposées s'aplanissent et sur la surface presque sans relief qui en résulte, il y aura accumulation de nouvelles dunes. De telles surfaces d'érosion présumées sont indiquées dans la figure 5, par des lignes horizontales nettement marquées.

Dans un grès éolien, il est rare de rencontrer une partie importante d'une dune unique. En général la face verticale de la roche révèle des sections à travers différentes dunes, chacune d'elles étant différemment inclinée sur la pente sous le vent. La trace des lits parallèles d'une dune est connue comme un ensemble dans lequel se croisent les différents lits. Les figures 5 à 9 en montrent des exemples.

Malheureusement, il n'existe à l'heure actuelle aucun test simple de diagnostic applicable au grès, qui permette au géologue de distinguer avec certitude un milieu de dépôt aqueux d'un milieu de dépôt éolien. Mais si les critères suivants sont satisfaits, tout laisse supposer qu'il s'agit d'un dépôt éolien:

1. Croisement des lits très inclinés, jusqu'à l'angle de repos du sable sec (33°), apparaissant dans

FIGURE 12 – *Directions des vents prédominants en Grande-Bretagne au Permien (d'après Shotton* [8] *et Opdyke).*

FIGURE 13 – *Directions des vents prédominants dans l'Ouest des États-Unis aux époques Permienne et Pennsylvanienne. (Données pour l'Arizona, d'après Reiche* [10]; *autres données d'après Opdyke et Runcorn* [13].)

des unités très importantes, certaines excédant 16 mètres de hauteur. (Voir par exemple la figure 7). Des structures semblables en lits croisés peuvent se produire par dépôts suivant des courants, ou dans la mer; elles seraient dues à des courants intenses mais sont généralement de dimensions plus petites que les dunes et l'inclinaison des couches est plus faible.

2. L'absence de mica, due au vannage par le vent. La nature fissile de ces minéraux fait qu'ils se brisent lors de l'impact.
3. L'absence de fossiles marins, qui indique des dépôts continentaux.
4. Coefficients de triage et d'arrondi élevés, dus au mode de transport du sable. De très petits grains de sable seront emportés beaucoup plus loin que de très gros grains et ainsi, dans une dune particulière, il y aura prédominance de grains d'une certaine dimension. Des impacts fréquents arrondiront les grains.

La méthode utilisée par les géologues pour déterminer la direction du mouvement des dunes de sable qui constituent les dépôts éoliens est très simple. On place une boussole sur le plan de la couche qui était autrefois la face de glissement de la dune de sable et la direction de la normale à une ligne de niveau de ce glissement est relevée. Ceci représente la direction de déplacement d'une portion de la dune primitive. Si l'on effectue 30 à 100 lectures de cette façon, chacune correspondant à un lit de croisement différent, le mouvement des dunes de sable est obtenu en représentant chacune des directions par une flèche unité et en déterminant la direction moyenne à l'aide de vecteurs.

OBSERVATIONS EN GRANDE-BRETAGNE ET EN AMÉRIQUE DU NORD

Dans l'hémisphère nord, vers la fin du Paléozoïque, des paléodéserts de grande étendue apparurent en Angleterre (Triasique et Permien)

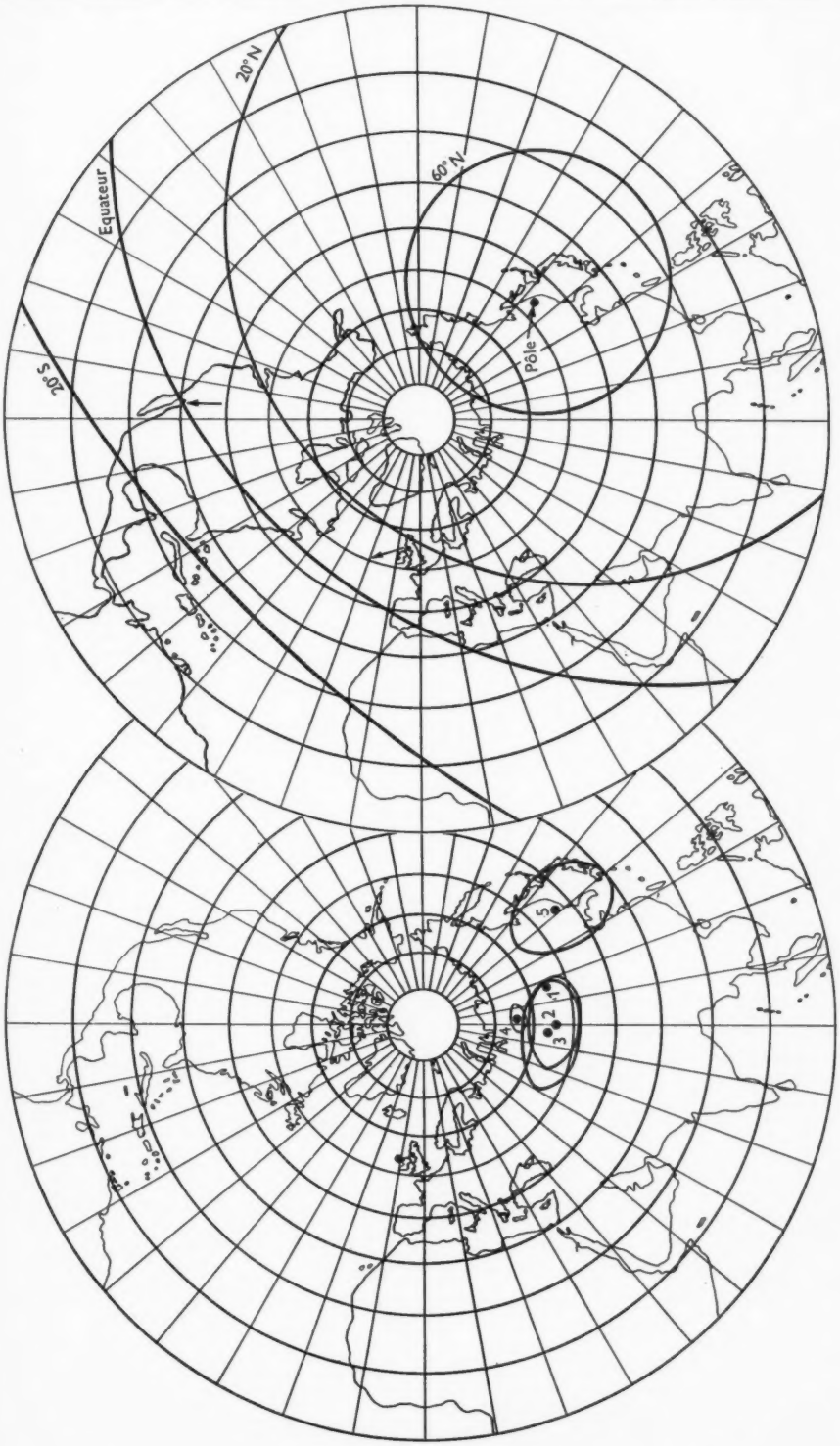


FIGURE 14 – *Positions du pôle au Triasique supérieur déduites des observations paléomagnétiques en différents points de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis. 1, Grès de Springdale, Utah; 2, Laves près de Holyoke, Massachusetts; 3, Laves et sédiments du Connecticut; 4, Successions de Newark, New Jersey; 5, Marnes de Keuper, Angleterre* [14].

FIGURE 15 – *Position relative de l'Europe et de l'Amérique du Nord et positions du pôle, de l'équateur, des parallèles 20° N, 20° S et 60° N à la fin du Paléozoïque et au début du Mésozoïque, d'après les observations paléomagnétiques.*

et dans l'ouest des Etats-Unis (Permien et Pennsylvanien). L'âge de ces grès éoliens est donc de 200–250 millions d'années.

Le paléodésert Permien d'Angleterre est représenté par les grès de Penrith de l'Eden Valley. Cette formation a été ainsi décrite: «Les observations précises des pseudo-couches dans la roche montrent qu'il y a prédominance marquée des plans de pseudo-couches inclinés, d'une façon générale, d'est en ouest. Si l'on suppose que le grès de Penrith est d'origine éolienne, cette pseudo-couche d'ouest peut indiquer la direction privilégiée des vents au cours des saisons sèches.» [7]. Plus récemment, F. W. Shotton [8] a rassemblé les résultats relatifs aux grès éoliens du Permien provenant de toutes les régions de la Grande-Bretagne et il a trouvé que le vent qui a déposé ces grès était un vent d'est variant très peu du nord de l'Ecosse (Elgin) au sud de l'Angleterre (Devon). C'est ce que montre la figure 12.

En Amérique du Nord, le grès de Coconino, du Permien de l'Arizona, a été reconnu depuis longtemps comme un grès éolien. C'est un des caractères remarquable du bord du Grand Canyon où il se présente sous forme d'un dépôt blanc de 100 mètres d'épaisseur et s'étend, suivant une formation facilement reconnaissable, sur plusieurs centaines de kilomètres. P. Reiche [10] a examiné les directions de feuilletage croisé de ce grès et ses résultats sont reportés figure 13: ils montrent un vent nord-nord-est remarquablement constant.

Le seul paléodésert restant du Paléozoïque supérieur des Etats-Unis qui ait été étudié est un peu plus vieux que les grès de l'Arizona; il fait partie du Pennsylvanien supérieur et du Permien ancien. Cette formation géologique appelée grès de Tensleep dans le Wyoming, de Casper dans le sud-ouest du Wyoming, et de Weber dans l'Utah, a été étudiée par les auteurs du présent article dans l'été 1956 et à nouveau on a trouvé que la direction de vents était nord-est (figure 13).

Qu'il soit possible de tracer une courbe représentative de la direction du vent au cours des périodes géologiques au moyen des grès éoliens est un projet intéressant en lui-même, mais il est important ici parce qu'il représente l'un des rares moyens qui permette de vérifier indépendamment, par mesures paléomagnétiques, les déterminations de la position du pôle par rapport aux masses continentales. Les indications paléomagnétiques suggèrent que la partie occidentale des Etats-Unis et la Grande-Bretagne étaient beaucoup plus rapprochées de l'équateur à l'époque du Paléozoïque supérieur qu'elles ne le sont de nos jours. La figure 15 montre la position de l'équateur, des parallèles 20°N, 20°S et 60°N et des pôles vers la fin du Paléozoïque et au début du Mésozoïque. On verra que ces régions se seraient trouvées dans la ceinture des alizés de l'hémisphère nord si la largeur actuelle de cette ceinture est typique. Il est intéressant de constater que les indications fournies par les grès éoliens décrits plus haut confirment cette prévision. La direction orientale de vent, déduite du Permien de Grande-Bretagne et pour la fin du Paléozoïque à l'ouest des Etats-Unis devient une direction nord-est par rapport à l'équateur au cours de cette période.

CONCLUSION

Ainsi l'accord apparaît entre les directions des vents et les positions des pôles paléomagnétiques de l'Amérique du Nord et de l'Europe à la fin du Paléozoïque et au début du Mésozoïque. On étudie actuellement le grès de Botucatu du Triasique supérieur d'Amérique du Sud.

On pourrait obtenir un grand nombre d'informations relatives aux courants atmosphériques et au climat de la Terre dans le passé, si l'on étendait cette méthode de recherche prometteuse à d'autres régions du globe, en particulier aux grès éoliens d'Afrique (Forrest-Bushveld), au Triasique d'Asie et au grès Nubien du Moyen-Orient, probablement d'origine éolienne.

RÉFÉRENCES

[1] RUNCORN, S. K. *Endeavour*, **14**, 152, 1955.
[2] *Idem. Proc. Geol. Ass. Canada*, **8**, 77, 1956.
[3] CREER, K. M., IRVING, E. et RUNCORN, S. K. *Phil. Trans., A*, **250**, 144, 1957.
[4] IRVING, E. et GREEN, R. *Geophys. J.*, **1**, 64, 1958.
[5] BAGNOLD, R. A. «Physics of blown sand and desert dunes». Methuen & Co. Ltd., Londres. 1941.
[6] MCKEE, E. D. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **41**, 1704, 1957.
[7] DAKYNS, J. R., TIDDEMAN, R. H. et GOODCHILD, J. G. *Mem. geol. Surv., U.K.*, Feuille 30, 110, 1897.
[8] SHOTTON, F. W. *Lpool Manchr Geol. J.*, **1**, 450, 1956.
[9] MCKEE, E. D. *Carnegie Inst. Wash. Publ.* No. 440, 77, 1934.
[10] REICHE, P. *J. Geol.*, **46**, 905, 1938.
[11] CHAPMAN, S. et BARTELS, J. «Geomagnetism», Vol. I. Oxford University Press, Londres. 1940.
[12] CREER, K. M., IRVING, E., NAIRN, A. E. M. et RUNCORN, S. K. *Ann. Géophys.*, **14**, 492, 1958.
[13] OPDYKE, N. D. et RUNCORN, S. K. *Bull. Geol. Soc. Amer.* (Sous presse.)
[14] DU BOIS, P. M., IRVING, E., OPDYKE, N. D., RUNCORN, S. K. et BANKS, M. R. *Nature, Lond.*, **180**, 1186, 1957.

Le planétarium

par H. C. KING

Depuis plus de 2 000 ans on s'est efforcé d'illustrer par des modèles ou d'autres dispositifs divers phénomènes astronomiques tels que le lever et le coucher des corps célestes, la succession du jour et de la nuit, les éclipses du Soleil et de la Lune, et les mouvements des planètes. Le présent article décrit de tels modèles, depuis les globes célestes, les sphères armillaires et les planétaires, jusqu'au planétarium moderne à projection, comportant des caractéristiques des trois types.

L'idée que la Terre n'est pas un disque plat mais un globe placé au centre de la voûte sphérique des cieux semble avoir pris naissance aux VIe et Ve siècles avant J.-C. dans la Grèce antique, où des hommes tels que Pythagore et Platon créaient la géométrie et poussaient à une étude géométrique des phénomènes naturels. La sphère était selon eux la forme géométrique la plus parfaite, donc la Terre a une forme sphérique tout comme la voûte des cieux. Il devint alors naturel de représenter les étoiles sur des globes, opération qui fut réalisée fort longtemps avant la construction du premier globe terrestre. Les hommes se familiarisèrent avec les étoiles et les groupèrent en constellations, bien des siècles avant d'être capables de dresser seulement la carte du vieux monde avec une précision suffisante. Le mouvement nocturne des cieux amenait d'une part les étoiles à paraître périodiquement, les étoiles circonpolaires notamment favorisent l'idée que les étoiles sont fixes, comme des boutons lumineux à la surface d'une sphère céleste en rotation. Par contre, l'idée d'une Terre sphérique et la connaissance de la distribution générale de ses formes et de ses masses devaient attendre les grands voyages de découverte des XVe et XVIe siècles.

Un des premiers globes célestes semble avoir été celui que l'astronome Eudoxe de Cnide fit lui-même, ou rapporta d'Egypte vers 370 avant J.-C. Un siècle plus tard, le poète cilicien Aratus composa ses *Phaenomena*, un poème que l'on considère habituellement comme basé sur une description des constellations d'après Eudoxe. Le plus ancien globe céleste existant (figure 1) semble également avoir un certain rapport avec Eudoxe, la disposition des 42 constellations sculptées en relief à sa surface suggérant qu'il a été construit probablement vers 300 avant J.-C. Ce globe de marbre, de 68 cm de diamètre, est supporté sur les épaules d'une statue de 2 m de haut, représentant Atlas agenouillé. L'ensemble de la sculpture est conservé au Musée Royal de Naples, sous le nom de *Atlante Farnesiano*.

D'après Cicéron [1] C. Sulpicius Gallus, «un homme très docte», lui a dit qu'Eudoxe a orné son globe céleste «des étoiles fixes des cieux et de tous les ornements et embellissements possibles». Gallus mentionne également un modèle mécanique des cieux que Marcellus a rapporté de Syracuse en 212 avant J.-C., comme butin de guerre. Il avait été réalisé par le mathématicien grec Archimède, qui périt pendant le pillage de la ville, et les romains admirèrent tant le modèle des cieux ou planétarium, que Marcellus le plaça dans le Temple des Vertus. Gallus décrit le planétarium comme une sorte de globe dans lequel tournent des modèles du Soleil, de la Lune et de cinq planètes visibles à l'œil nu (alors appelés les sept étoiles mobiles ou planètes), chaque modèle décrivant ses «mouvements inégaux et variés» au cours «d'une révolution de la machine».

Selon toute probabilité, le planétarium d'Archimède était un astrolabe sphérique, ou sphère armillaire. L'armillaire semble avoir été utilisé sous sa forme la plus simple, par Eratosthène, Hipparque et d'autres astronomes d'Alexandrie pour la mesure de la position du Soleil, de la Lune et des étoiles. Il se compose habituellement d'un groupe de 3 anneaux concentriques — ou plus — se coupant, soit montés sur un socle fixe, soit suspendus à un plafond par des cordelettes. Ces anneaux représentent l'horizon, le méridien, l'équateur céleste et l'écliptique, tandis qu'une autre bague mobile, munie de repères, permet à l'observateur de mesurer la distance angulaire de l'objet céleste par rapport à l'un quelconque des cercles de référence. Les Arabes perfectionnèrent beaucoup ces armillaires, qui furent utilisés en Europe Occidentale jusqu'au XVIIIe siècle pour l'enseignement de l'astronomie. Un perfectionnement du dispositif consista à fixer une petite Terre

au centre du système de cercles, pour permettre l'emploi de l'instrument comme illustration de la géométrie de Ptolémée, ou conception de l'univers plaçant la Terre au centre du monde (figure 2). Un autre perfectionnement fut apporté par l'astrolabe plan ou planisphérique, instrument fortement apprécié et perfectionné par les Arabes, et utilisé comme aide à la navigation jusqu'à la fin du XVIIIe siècle.

Le premier à abandonner l'idée d'un globe céleste représenté par une sphère portant des étoiles et des constellations sur sa surface extérieure fut Adam Oelschläger ou Olearius, mathématicien et bibliothécaire du duc Frédéric III de Holstein-Gottorp. Sous sa direction, et de 1654 à 1664 Andreas Busch de Limberg réalisa une sphère creuse en cuivre, d'environ 3,4 m de diamètre et pesant près de 3½ tonnes (figure 3). La sphère était traversée par un axe métallique rigide, supporté aux deux extrémités, et faisant un angle de 54½° avec l'horizon, cet angle représentant la latitude de Gottorp. La surface extérieure de la sphère était une carte de monde alors connu, et un large cercle d'horizon permettait aux visiteurs de se promener autour du globe et d'examiner la carte en détail. A la partie sud du globe, une petite porte donnait accès à l'intérieur éclairé par deux petites lampes à huile [2]. A l'intérieur, la plateforme circulaire suspendue à l'axe pouvait recevoir jusqu'à 10 spectateurs; l'opérateur faisait lentement tourner le globe à partir de ce plancher, en tournant la poignée d'une vis d'Archimède. Le globe étant en mouvement, une succession d'étoiles et de constellations dorées se levait et se couchait par rapport à un horizon artificiel. On voyait également le changement mensuel d'aspect du ciel nocturne, le mouvement diurne du Soleil et son mouvement apparent le long de l'écliptique, le Soleil étant représenté par une sphère en verre à laquelle on pouvait imprimer son mouvement propre le long du cercle de l'écliptique. Le globe fut offert en 1715 au tsar Pierre le Grand, qui l'offrit à son tour à l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg. D'après un rapport récent, ce globe est actuellement conservé au Musée Zoologique de Léningrad.

Le globe céleste suivant de ce type fut réalisé par Erhard Weigel. Weigel devint Professeur de Mathématique à l'Université d'Iéna, en 1654, et étudia beaucoup les dispositifs mécaniques permettant de populariser l'astronomie. L'un de ses globes célestes se trouve actuellement au Musée du *Franklin Institute* à Philadelphie. D'un diamètre de 45 cm environ, ce globe présente un ensemble inhabituel de constellations car Weigel a remplacé de nombreuses figures classiques par les armoiries des familles régnant en Europe à cette époque. Les étoiles sont formées par de petits trous découpés dans le globe, et pour les voir dans leurs constellations, l'observateur regarde dans l'intérieur du globe, par un grand trou.

Le plus grand globe céleste creux est celui étudié par Roger Long, Professeur d'Astronomie à Cambridge. Cette sphère de 5,5 m de diamètre et inclinée suivant la latitude de Cambridge, fut terminée en 1758 et Long obtint de la faire monter à Pembroke College. Un treuil à vis sans fin permettait de la faire tourner et les étoiles, comme dans la sphère de Weigel, étaient représentées par des trous de diverses dimensions percés dans le métal. 30 visiteurs pouvaient se tenir à l'intérieur et observer le lever et le coucher des étoiles par rapport à un horizon artificiel. Long espérait que sa sphère contribuerait beaucoup à populariser l'astronomie, mais il fut cruellement déçu. Bien qu'il eût prévu 6 livres par an pour l'entretien, la sphère se détériora progressivement au point de ne pouvoir être réparée. Dans un écrit de 1844, W. H. Smyth dit que «plus d'un homme digne de foi a vécu et étudié à Cambridge sans connaître l'existence de cette sphère» [3].

Un succès plus marqué attendait le grand globe céleste suivant, que W. W. Atwood construisit en 1911 dans le but d'enseigner des notions fondamentales d'astronomie à l'Académie des Sciences de Chicago (figure 4). D'un diamètre de 4,57 m, le globe fut réalisé en minces tôles galvanisées et ne pesait pas plus de 227 kg [4]. Supporté à l'équateur par trois roues, ce globe pouvait tourner sous l'action d'un petit moteur électrique, autour d'un axe incliné de 41° 50′ sur l'horizontale. Les étoiles étaient formées par de nombreux trous ayant tous une dimension correcte, et soigneusement placés. Une petite lampe électrique mobile suivant l'écliptique, représentait le Soleil. Pour la Lune, Atwood utilisait un d'une série de petits disques découpés pour représenter les phases de la Lune, et enduits d'une peinture lumineuse.

A partir du XVIe siècle, la simplicité géométrique relative du système de Copernic par rapport au système de Ptolémée facilita grandement la construction de modèles du système solaire. Alors qu'il était relativement simple de concevoir un mécanisme entraînant des planètes sur des orbites circulaires, avec des mouvements uniformes autour d'un soleil central, il devenait extrêmement difficile de les entraîner aux vitesses proportionnelles correctes, avec un petit nombre seulement

FIGURE 1 – *Globe céleste de l'*Atlante Farnesiano. *Une reproduction de la collection Warburg, au Planétarium Zeiss, Hambourg.*

FIGURE 2 (*à droite*) – *Sphère armillaire de Vopel* (1542). *D'après une pièce du Science Museum, Londres.*

FIGURE 3 – *Le globe terrestre et céleste de Gottorp.*

FIGURE 4 – *Le globe céleste d'Atwood, au Muséum de l'Académie des Sciences de Chicago.*

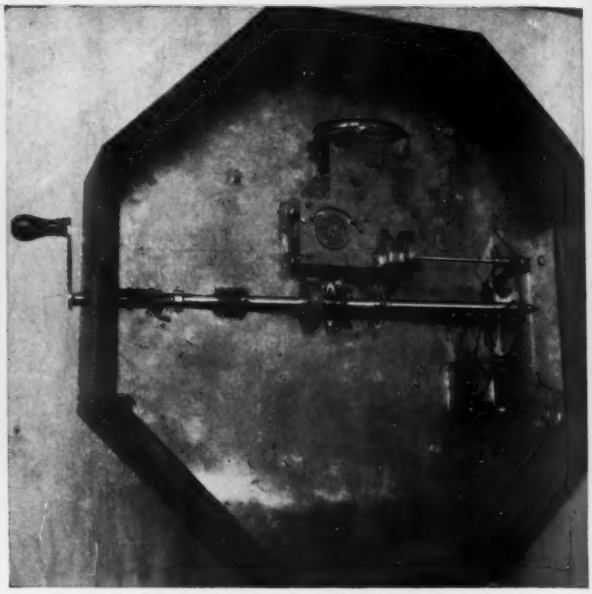
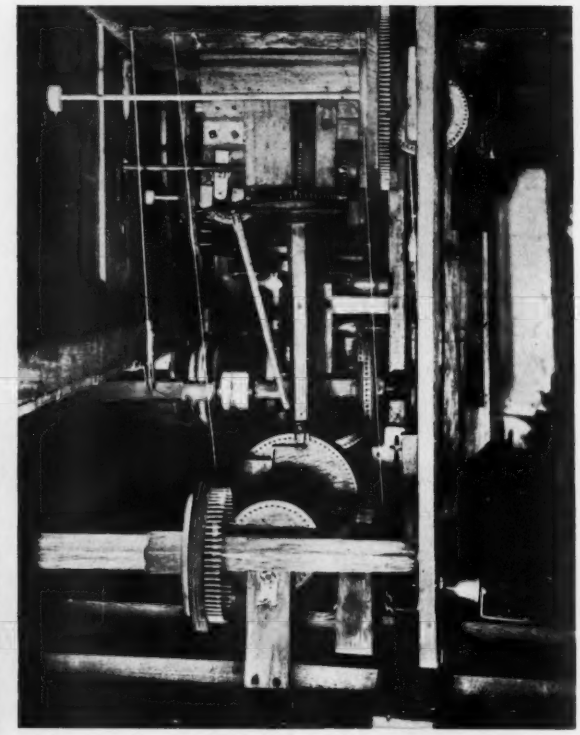


FIGURE 5 – *Planétarium de Huygens, montrant (à gauche) le cadran et (à droite) le mécanisme. (Musée de l'histoire de la science, Leyde.)*

(a)

(b)



(c)

FIGURE 6 – *Planétarium d'Eisinga à Franeker.* (a) *Vue générale;* (b) *détail;* (c) *partie du mécanisme.*

FIGURE 7 – *Le planétaire de Tompion et Graham. En haut: vue générale; en bas: mouvement, avec deux montants enlevés.*

FIGURE 8 – *Panneau central du planétaire de Rittenhouse, dans la bibliothèque de l'Université de Princeton.*

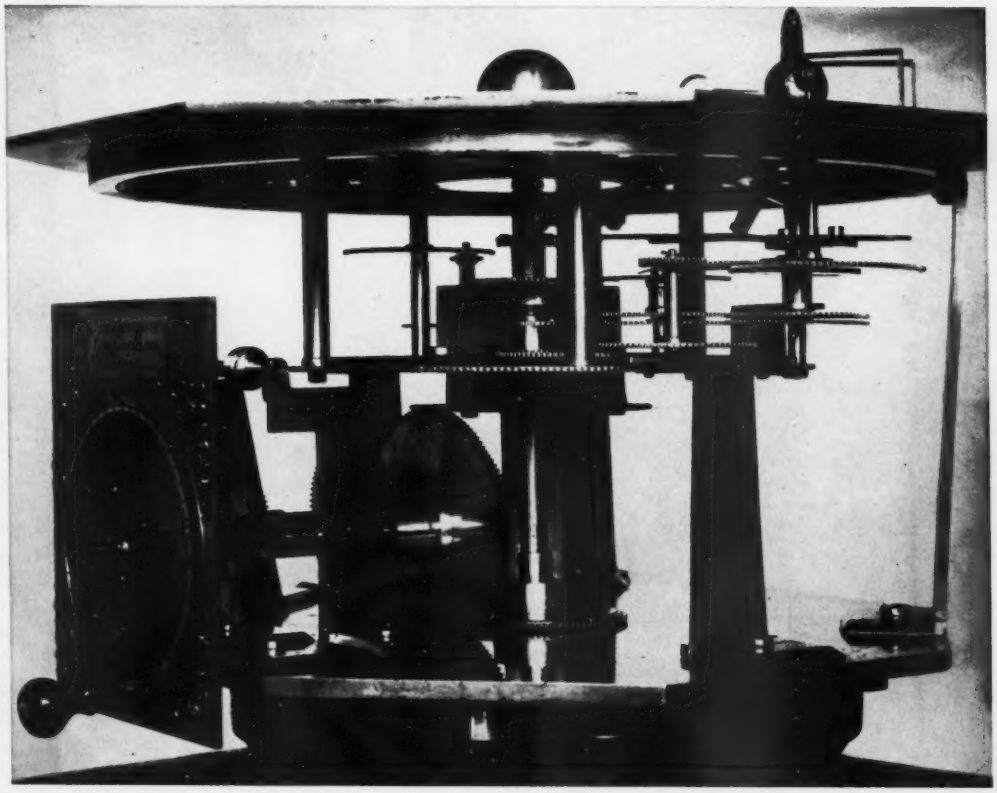


FIGURE 9 – *Planétaire de Thomas Wright.* (Crown copyright, Science Museum, *Londres.*)

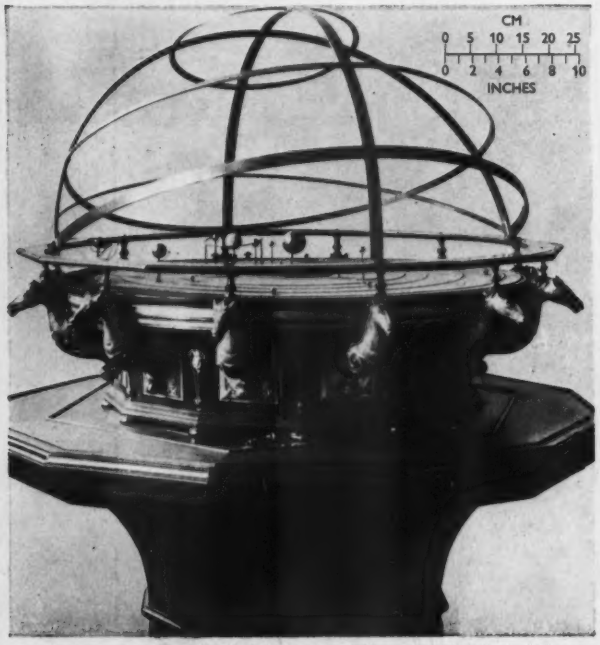


FIGURE 10 – *Grand planétaire de Thomas Wrigh.t* (Crown copyright, Science Museum, *Londres.*)

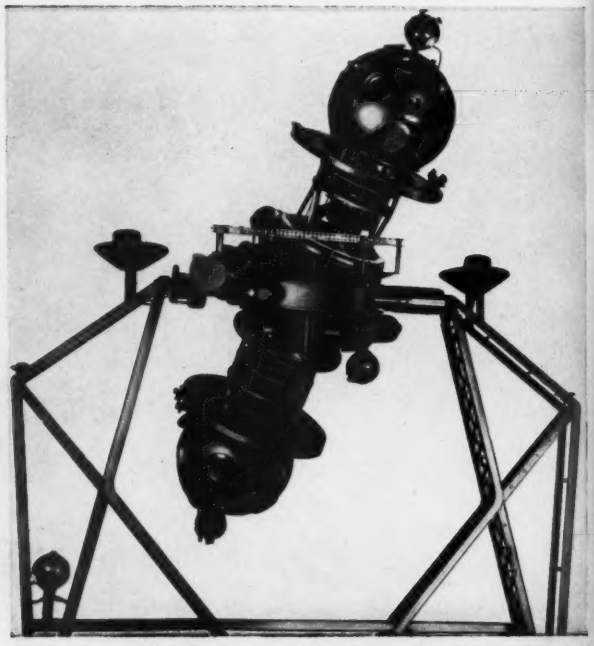


FIGURE 11 – *Dernier type, ou type universel d'instrument de planétarium Zeiss.*

59

lané-

de roues dentées simples. Le problème fut résolu avec succès par le physicien hollandais Christiaan Huygens. Pour ce faire il modifia le principe des fractions continues qui lui permirent de montrer par exemple que le globe terrestre et le globe représentant Saturne dans un modèle du système solaire tournent avec des périodes dans un rapport sensiblement correct quand la roue terrestre a 7 dents et la roue de Saturne 206 dents. Huygens étudia sur cette base un petit planétarium [5] actionné par un mécanisme d'horlogerie et des roues dentées, que van Ceulen réalisa en 1682 à La Haye, et qui se trouve actuellement au Musée National d'histoire de la science, à Leyde (figure 5).

Van Ceulen monta le mécanisme dans une boîte octogonale d'environ 66 cm de large, et de 18 cm de profondeur; il découpa 6 rainures circulaires et excentriques dans le couvercle en cuivre de cette boîte. Ces rainures correspondent aux orbites des 6 planètes, y compris Saturne, et dans chacune se déplace un axe surmonté par un petit modèle de planète. Théoriquement, les planètes devraient se déplacer à des vitesses variables sur les orbites elliptiques, mais Huygens résolut élégamment le problème. Bien que les planètes aient des mouvements uniformes dans des orbites circulaires de son planétarium, ces orbites sont des cercles excentrés. Les centres sont décalés d'une valeur appropriée par rapport au globe solaire et les planètes ont par suite des mouvements non uniformes, vus du globe solaire. Leurs mouvements représentent ainsi les mouvements non uniformes des planètes réelles avec une bonne précision.

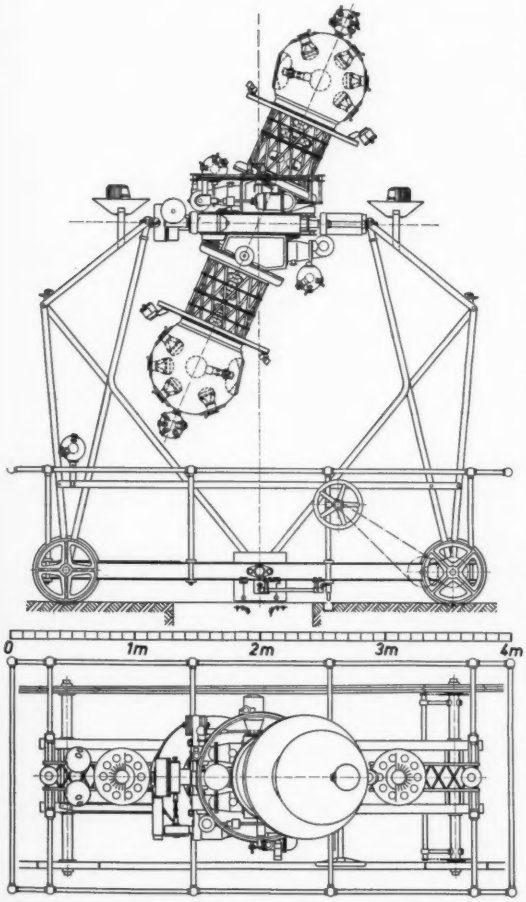


FIGURE 12 – *Schéma de l'instrument de planétarium universel.*

Huygens n'était absolument pas le seul à s'intéresser au planétarium à cette époque. En 1679, l'astronome danois Olaus Rømer envoya à John Flamsteed les détails d'une machine montrant les mouvements relatifs de 4 des satellites de Jupiter. En Angleterre, Richard Cumberland, plus tard évêque de Peterborough, et Stephen Hales d'Oxford réalisèrent des modèles du système Terre-Lune à fonctionnement très simple. George Graham obtint toutefois le plus grand succès en réalisant un modèle complet du système Terre-Lune dans lequel la Lune tournait autour de la Terre, la Terre autour du Soleil et la Terre et la Lune autour de leurs axes.

Graham travailla pendant des années avec le célèbre horloger Thomas Tompion et devint par la suite le premier fabricant d'appareils scientifiques à Londres. Son modèle du système Terre-Lune semble avoir été réalisé entre 1704 et 1709 et était probablement identique à celui de Tompion et Graham actuellement conservé au Musée d'histoire de la science d'Oxford [6] (figure 7). D'après une tradition [7] Graham aurait confié son planétarium à John Rowley, un autre fabricant londonien d'appareils, pour être emballé et envoyé au Prince Eugène de Savoie. Rowley fit plusieurs copies de la machine, probablement avec l'accord de Graham, et en adressa une à Charles Boyle, quatrième comte d'Orrery. L'appareil fut par suite appelé un «*orrery*» (nom anglais du planétaire), et son invention fut d'abord attribuée à Rowley. L'instrument envoyé à Charles Boyle est actuellement la propriété de l'Amiral de la Flotte, le comte de Cork et Orrery, qui l'a prêté à la *Royal United Service Institution*, Whitehall, Londres. Le mécanisme est enfermé dans un tambour en bois de 75 cm de diamètre, et

d'environ 23 cm de profondeur. Juste au-dessus du tambour se trouve le cercle de l'écliptique, supporté par 12 piliers dorés. Le système Terre-Lune est sous verre dans un tambour qui tourne autour du globe central représentant le Soleil, avec l'ensemble du couvercle.

Les planétaires de Rowley étaient très estimés tant comme œuvres d'art que comme curiosités scientifiques, et plusieurs autres fabricants londoniens d'appareils scientifiques développèrent rapidement leurs activités dans cette voie. L'un des premiers parmi eux était Thomas Wright (figure 9) dont l'atelier se trouvait dans Fleet Street, à l'enseigne «*The Orrery and Globe*». Wright créa ce qui fut appelé plus tard le «grand planétaire», un instrument montrant les mouvements de la Terre, de la Lune et des 5 planètes alors connues (figure 10). L'un de ces instruments réalisé en 1733 et installé au Royal Observatory de Richmond est réputé avoir coûté £1 500. Il fut transféré au King's College à Cambridge en 1841 et se trouve maintenant à titre de prêt au Science Museum de Londres. A Wright succédèrent Benjamin Cole et son fils, puis Edward Troughton [8]. D'autres planétaires furent réalisés au cours de cette période (1730 à 1830) par l'astronome écossais James Ferguson et par les fabricants londoniens d'appareils Benjamin Martin, George Adams, Heath et Wing et W. et S. Jones.

Le premier planétaire réalisé en Amérique fut construit en 1770 par David Rittenhouse, horloger et astronome à Norriton, Pennsylvanie. Rittenhouse fut le premier à faire se déplacer ses modèles de planète sur orbites elliptiques, et à représenter par suite leurs mouvements relatifs plus fidèlement que jamais auparavant. Il monta son modèle verticalement dans un joli meuble vitré, et le disposa en trois parties. La partie centrale, d'environ 1,8 m², contenait un modèle réduit du système solaire, le mouvement des planètes étant obtenu par rotation d'une manivelle. Une des parties latérales représentait les mouvements des satellites connus de Jupiter et Saturne; l'autre partie latérale contenait des modèles du Soleil, de la Lune et de la Terre, et pouvait être utilisée pour la démonstration des éclipses, des phases de la Lune et du mouvement apparent du Soleil le long de l'écliptique.

En 1771, Rittenhouse vendit son planétaire au *College of New Jersey*, Princeton, pour £200; ayant quitté Norriton pour aller s'installer à Philadelphie, il avait à cette époque terminé un second appareil, identique au premier. Ce second appareil fut acheté par le Collège de Philadelphie et se trouve maintenant dans la bibliothèque de l'Université de Princeton (figure 8). Au cours de la guerre d'Indépendance, les troupes endommagèrent la première machine, mais elle fut réparée ultérieurement par Henry Voigt, assistant de Rittenhouse [9]; elle aussi, après avoir connu un très vif succès à l'exposition internationale de Chicago de 1893, est actuellement à l'Université de Princeton.

Le plus grand planétarium copernicien construit jusqu'au XIXe siècle inclus est celui de Eise Eisinga, un peigneur de laine de Franeker, près de Leeuwarden, dans la Frise occidentale [10]. Il le commença en 1774 et le termina en 1781. Le mécanisme, actionné par des poids et stabilisé par un pendule, se composait essentiellement de roues dentées, sous la forme de roues et de cercles en chêne, munis de dents métalliques. Il est dissimulé dans le double plafond d'un petit salon, de sorte que le planétarium apparaît au-dessus de la tête de l'observateur (figure 6). En levant la tête, l'observateur voit les globes représentant les planètes dans leurs positions relatives correctes, l'échelle des distances étant de $1 : 10^{12}$. Chaque planète est entraînée par une broche se déplaçant dans sa propre rainure, circulaire et excentrique, découpée dans le plafond inférieur. Les globes tournent avec la période naturelle des planètes, celui de Saturne prenant près de 29½ ans pour boucler son circuit autour du Soleil. Le globe terrestre est accompagné par un globe lunaire qui tourne autour de la Terre et autour de son propre axe, une fois par mois. Jupiter a quatre satellites et Saturne en a cinq, en plus de son anneau, mais aucun d'eux n'a de mouvement indépendant. L'écliptique est représentée par un ruban gradué fixé à l'extérieur de la rainure de Saturne, et ayant la même excentricité que la rainure de la Terre. L'index qui se déplace devant le ruban indique donc le mouvement apparent du Soleil dont il montre la position dans le zodiaque.

Au-dessus du lit de la chambre se trouvent des cadrans indiquant la phase et la longitude de la Lune, la position de son apogée et son nœud ascendant. D'autres cadrans indiquent l'année, le jour, l'heure et les heures de lever et de coucher du Soleil; ces cadrans sont reliés à une ingénieuse carte céleste mobile permettant de voir d'un seul coup d'œil quelles étoiles se trouvent au-dessus de l'horizon, à Franeker, à l'instant de l'observation. L'état acheta le planétarium en 1825, et Eisinga fut nommé conservateur. A sa mort, la maison et le planétarium furent offerts à la ville par le roi

Guillaume III. Le mécanisme est régulièrement entretenu en état de marche depuis.

Le planétarium copernicien de loin le plus grand et le plus impressionnant est celui du Deutsches Museum, de Munich. Construit au début des années 20 par la Fondation Zeiss, Iéna, il a été étudié par Franz Meyer, ingénieur en chef des usines Zeiss [11]. Les rails en fer correspondant aux orbites elliptiques des six planètes sont montés sur le plafond d'une pièce cylindrique d'environ 11 m de diamètre et de 3 m de hauteur. Les globes représentant les planètes sont entraînés sur les rails par des moteurs électriques. Dans l'obscurité, l'observateur voit les planètes éclairées par la lumière du Soleil central; il peut observer non seulement leurs mouvements, mais aussi ceux de leurs satellites, le tout à raison d'un an en douze minutes. Une petite plateforme se déplace en outre au sol, de sorte que l'observateur se trouve toujours directement sous le globe terrestre. Un périscope est fixé à la plate-forme; en le dirigeant à grand angle sur n'importe quelle planète, l'observateur peut observer son mouvement géocentrique apparent par rapport aux principales étoiles du zodiaque; les étoiles sont représentées par de petites lampes fixées dans le mur de la chambre. Des planétariums similaires mais plus petits, du même type, se trouvent également au *Hayden-Museum Planetarium* de New-York et au *Morehead Planetarium* de Chapel Hill, Caroline.

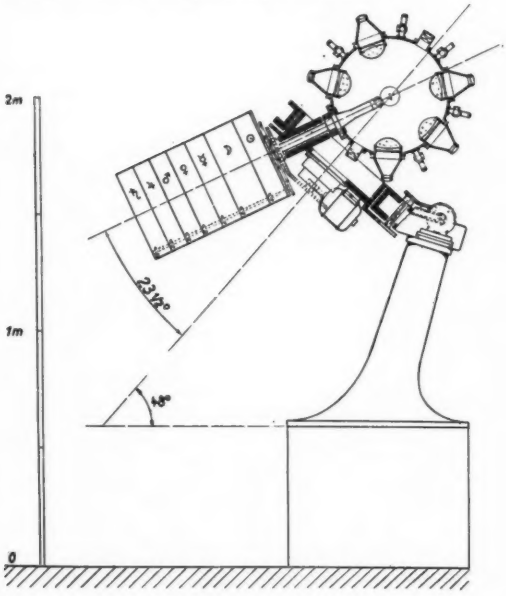


FIGURE 13 – *Schéma du premier type d'instrument de planétarium Zeiss, à latitude fixe.*

Bien que le Planétarium de Munich connût un grand succès auprès du public, le Dr. Oscar von Miller, directeur du Muséum, demanda à la Fondation Zeiss si elle ne pouvait pas réaliser un instrument encore plus complet, qui montrerait les cieux et les mouvements des planètes tels que les voit un observateur placé sur la Terre. Pour satisfaire à cette demande, le Dr. Walter Bauersfeld de chez Zeiss abandonna les méthodes impliquant des bielles, des guides et des manivelles pour déplacer les modèles de planètes et adopta le principe d'ensembles mobiles de projecteurs optiques. Dès 1919, il avait dessiné un grand hémisphère fixe dont la surface intérieure blanche servait d'écran pour les images projetées par les nombreux petits projecteurs situés au centre. Par rotation de ces projecteurs, individuellement ou par groupes, des images du Soleil, de la Lune, des planètes et des étoiles suivent leurs chemins particuliers dans le ciel du planétarium [12].

Après 5 ans de travail intensif, l'appareil de projection, complexe mais compact, fut réalisé. Une fois monté dans un dôme, sur le toit des usines Zeiss, ses performances dépassèrent toutes les prévisions et l'intérêt du public fut immédiat et réconfortant. L'instrument fut installé en mai 1925 au Deutsches Museum de Munich, où il est toujours en service. Un second instrument identique au premier a été construit et installé à Düsseldorf, en 1926. Il fut transporté en 1934 au Planétarium de La Haye où il se trouve toujours.

Les étoiles formées par chacun des deux premiers instruments Zeiss sont projetées par 31 systèmes optiques répartis sur un globe de 51 cm et éclairés par une lampe de 200 W, fixée au centre (figure 13). Fixé au globe céleste, et tournant avec lui, se trouve un cylindre à treillis contenant des projecteurs mobiles pour le Soleil, la Lune et 5 planètes visibles à l'œil nu. Ces projecteurs sont actionnés, par l'intermédiaire d'engrenages appropriés, par une commande «annuelle» pouvant faire parcourir l'écliptique par le Soleil en des périodes allant de quelques secondes à plusieurs minutes. Lorsque l'image du Soleil est mise en mouvement de cette façon, la Lune et les planètes effectuent leurs mouvements proportionnels. Les spectateurs voient les curieux mouvements géocentriques des planètes, et peuvent les observer dans leur cheminement sur le fond d'étoiles, avançant et reculant en arabesques rythmiques.

Les deux premiers projecteurs Zeiss sont limités par le fait qu'ils représentent l'aspect du ciel nocturne pour une seule latitude donnée. En 1924, W. Villiger, de chez Zeiss, effectua une

modification importante, permettant de représenter le ciel étoilé, pour une latitude quelconque [13]. Dans ce modèle, les projecteurs sont groupés de façon à former un réseau de près de 4 m de long, ayant la forme d'une haltère (figures 11 et 12). Les «boules» de l'haltère sont deux globes stellaires projetant environ 8 900 étoiles pour les hémisphères nord et sud. Les projecteurs du Soleil, de la Lune et des planètes sont logés dans le châssis cylindrique formant la barre de l'haltère. En déplaçant ce dispositif de façon convenable, il est possible de représenter l'aspect des cieux vus d'un endroit quelconque de la Terre, et à n'importe quel moment, passé, présent ou futur.

Les dix-sept planétariums Zeiss contenant des instruments du type en haltère sont répartis pratiquement dans le monde entier. Rome en a acquis un en 1928 et Moscou en 1929. Dix ont été montés dans des grandes villes d'Allemagne et d'Autriche, entre 1925 et 1928 mais ils ont été soit détruits, soit abandonnés. L'univers artificiel a été présenté pour la première fois au public des Etats-Unis en mai 1930, à l'ouverture de l'*Adler Planetarium* de Chicago. Son grand succès conduisit à l'installation d'instruments similaires à Philadelphie (1933), Los Angeles et New-York (1935), Pittsburgh (1939) et Chapel Hill (1940). Des planétariums Zeiss fonctionnent également à Milan, Bruxelles, Osaka, Paris, Tokio et São Paulo. Le dernier venu de la liste est le *London Planetarium* ouvert au public depuis le 20 mars 1958; c'est le premier planétarium à grande échelle du Commonwealth [14]. L'instrument Zeiss de Londres fait partie d'une nouvelle série produite par les usines Zeiss d'Oberkochen, en Allemagne Fédérale, et qui comprend également les instruments pour les planétariums de Tokio, São Paulo et Hambourg.

Tous les planétariums à projection actuellement en service n'utilisent pas un équipement Zeiss. En 1935, F. D. Korkosz, technicien au Musée d'histoire naturelle de Springfield, Mass., a réalisé un projecteur céleste dans lequel de nombreuses lentilles réparties sur un globe de 1,5 m de diamètre donnaient l'image des étoiles sur un plafond hémisphérique [15]. En 1952, l'équipe technique de la *Californian Academy of Science* a réalisé un grand projecteur du type Zeiss, actuellement installé à l'*Alexander F. Morrison Planetarium* de San-Francisco [16].

Les planétariums à projection de loin les plus nombreux, au moins aux Etats-Unis, sont des produits des Spitz *Laboratories* de Yorklyn, Delaware. Les instruments Spitz couvrent toute une gamme de dimensions, depuis de petits modèles de table, jusqu'à un grand projecteur comprenant plusieurs caractéristiques Zeiss notamment la forme en haltère. En utilisation l'haltère Spitz est toutefois suspendue par des câbles minces au dôme de projection; ce mode de support réduit l'occultation des images projetées par le châssis-support. Les étoiles plus pâles sont formées en envoyant la lumière d'arcs au zirconium concentrés à travers 3 083 trous d'aiguilles répartis sur les deux globes stellaires. Les 54 étoiles les plus brillantes sont produites par des systèmes de lentilles individuelles; l'image de Sirius, l'étoile la plus brillante, a un diamètre inférieur à 32 mm sur un dôme de 18 m. Un grand projecteur Spitz a été monté en 1954 au *Planetario* Municipal de Montevideo, Uruguay [17], et d'autres projecteurs du même type viennent d'être installés au Planétarium de Flint, Michigan, et à celui de Colorado Springs, Colorado.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie chaleureusement le Dr H. Werner de Zeiss, Oberkochen, qui lui a fourni les illustrations des figures 1, 3, 4, 8, 11 et 13. Il remercie également P. van der Star, du Musée national d'histoire de la science de Leyde, qui lui a fourni des renseignements techniques et des photos du planétarium de Huygens, reproduites à la figure 5.

RÉFÉRENCES

[1] CICERO, «De Republica», Livre I, Ch. XIV.
[2] STEVENSON, E. L. «Terrestrial and Celestial Globes», p. 73. Yale University Press, New Haven. 1921.
[3] SMYTH, W. H. «A Cycle of Celestial Objects», II, 179. J. W. Parker, Londres. 1844.
[4] ATWOOD, W. W. *Sky*, **2**, No. 6, 12, 1938.
[5] CROMMELIN, C. A. *Antiqu. Horol.* Mars 1955.
[6] GABB, G. H. et TAYLOR, F. Sherwood. *Connoisseur*, **122**, 24, 1948.
[7] DESAGULIERS, J. T. «A Course of Experimental Philosophy». Londres. 1734.
[8] «At the Sign of the Orrery», Cooke, Troughton and Simms Ltd., York. (Sans date.)
[9] GILLINGHAM, H. E. *J. Franklin Inst.*, **229**, 81, 1940.
[10] SIXMA, H. *Pop. Astr.*, **42**, 489, 1934.
[11] MEYER, F. A. *Z. Ver. dtsch. Ing.*, **69**, 1425, 1925.
[12] WERNER, H. «From the Aratus Globe to the Zeiss Planetarium». Traduit par A. G. Degenhardt. Gustav Fischer, Stuttgart. 1957.
[13] VILLIGER, W. «The Zeiss Planetarium». W. and G. Foyle, Londres. 1926.
[14] KING, H. C. *Observatory*, **78**, 69, 1958.
[15] «New Planetarium», *Sky*, **2**, No. 2, 15, 1937.
[16] MILLER, R. C. (publié par). «The Story of the Alexander F. Morrison Planetarium». (Sans date.)
[17] COLES, R. R. *Sky and Teles.*, **13**, 292, 1954.

Les associations stellaires

par V. A. AMBARTSUMYAN

L'âge des différentes étoiles et leur processus de formation constituent des problèmes d'importance majeure en astronomie; une des questions qui se posent est de savoir si certaines étoiles sont encore à un stade évolutif de leur formation. La découverte et l'étude des associations stellaires en ont donné des preuves qui sont étudiées ici en même temps que les résultats obtenus de l'étude d'autres groupements stellaires.

Les astronomes ont récemment porté leur attention sur l'étude des différences d'âge entre les étoiles. La découverte et l'étude d'un nouveau type de système stellaire, les associations stellaires, ont conduit à un grand nombre de résultats. On peut dire, en outre, que de telles investigations ont permis d'affirmer de façon définitive que les étoiles de notre système stellaire, la Galaxie, sont encore en cours de formation. En comparant le nombre d'associations stellaires des différentes autres galaxies de types divers, on peut en déduire l'importance relative de la formation des étoiles à l'intérieur de ces associations.

Les associations stellaires sont des éléments de la structure d'une galaxie et sont apparentées aux amas ouverts, groupes connus depuis longtemps. Les amas ouverts permettent d'obtenir certaines informations concernant l'âge des étoiles et leurs processus de formation. Voyons donc comment on obtient ces informations.

L'observation montre que notre galaxie comprend des groupes d'étoiles dans lesquels la densité stellaire est plus élevée que dans leurs régions environnantes. Chacun de ces groupes est animé d'un mouvement autour du centre de la Galaxie, mouvement identique à celui du Soleil et des autres étoiles simples ou multiples. Ces groupes sont appelés amas stellaires. Une étoile membre d'un tel amas participe au mouvement général de l'amas autour du centre de la Galaxie et se déplace également autour du centre de gravité de l'amas. A ce point de vue les amas stellaires sont analogues aux étoiles doubles et multiples.

Les amas stellaires sont de deux types. Certains amas contiennent des dizaines de milliers de membres. Ce sont les amas globulaires. Leur structure présente une symétrie à peu près exacte, bien qu'elle ne soit pas toujours symétrie sphérique. Les amas globulaires se rencontrent à la fois au voisinage du plan galactique et dans des régions très éloignées de ce plan.

Les autres amas ne possèdent pas une forme aussi régulière et leur richesse en étoiles est plus ou moins importante. Ils contiennent des dizaines, des centaines, parfois des milliers d'étoiles, et se répartissent seulement au voisinage du plan de la Voie Lactée. Ces amas sont appelés amas ouverts ou galactiques. C'est le cas des Pléiades et des Hyades, visibles à l'œil nu. L'amas double de Persée est l'un des objets les plus beaux qui puissent être vus au moyen d'un petit télescope. La distance de cet amas est d'environ 6 000 années-lumière.

Les amas globulaires et les amas ouverts diffèrent également par la composition et la nature de leurs populations stellaires. Les amas ouverts contiennent généralement des géantes bleues, c'est-à-dire des étoiles à hautes températures et de grande brillance. Les amas globulaires ne contiennent pas de géantes bleues, mais toujours des géantes rouges, c'est-à-dire des étoiles à basses températures mais de dimensions très importantes.

Le calcul montre que les membres d'un amas stellaire sont retenus par des forces d'attraction mutuelle régies par la loi de Newton. Si chaque amas était isolé, le phénomène qui apparaîtrait à l'intérieur de cet amas, serait entièrement déterminé par les forces en question. Cependant en 1934, B. J. Bok attira l'attention sur le point suivant. En général les étoiles de la Galaxie peuvent passer à travers ou au voisinage d'un amas avec des vitesses beaucoup plus grandes que celles des membres de l'amas, si l'on se rapporte à son centre de gravité. Elles abandonneront alors un peu de leur énergie à l'amas et par conséquent l'énergie de celui-ci augmentera ainsi que ses dimensions. Après un certain nombre de ces passages, les étoiles de l'amas peuvent acquérir des vitesses suffisantes pour qu'elles puissent se séparer. L'amas est ainsi disloqué.

On a trouvé que ce moyen de dislocation de

l'amas n'est pas important dans le cas des amas globulaires de densité élevée et dont l'éclatement requiert un apport considérable d'énergie extérieure. Cependant le processus indiqué par Bok doit être très efficace dans un grand nombre d'amas ouverts de densité faible et dont, par conséquent, l'interaction gravitationnelle entre leurs membres est faible. L'éclatement des amas ouverts suivant cette manière se produit au cours de quelques milliards d'années, période comparable à la durée de vie des étoiles.

En 1937 l'auteur du présent article a montré l'existence d'un autre mécanisme d'éclatement, plus efficace dans la majorité des cas. Il intervient même pour les amas ouverts dans lesquels la densité d'étoiles est relativement élevée. Il se produit comme suit: le mouvement des étoiles de l'amas lui-même résulte quelquefois de la rencontre entre ces étoiles, et il y a échange d'énergie lors de leur mutuelle approche. Dans certains cas, l'une des étoiles acquiert tant d'énergie que celle-ci peut vaincre le champ gravitationnel et quitter l'amas. La répétition de ce processus entraîne la réduction du nombre d'étoiles dans l'amas qui devient petit à petit une étoile multiple ordinaire.

La séquence de ces événements conduit à la dislocation de certains amas au bout d'une période qui est de l'ordre d'un milliard d'années ou même moins. Le fait que de tels amas soient encore observés montre que leur âge ne peut pas dépasser un milliard d'années. L'âge de ces amas est considérablement moindre que l'âge moyen des étoiles de la Galaxie.

Dans cet ordre d'idée, il est très important de constater que l'opération inverse — la formation d'un amas à partir d'étoiles auparavant indépendantes — est pratiquement impossible. En d'autres termes, la désintégration des amas dans la Galaxie est un phénomène irréversible.

Si l'amas ne peut pas avoir été formé à partir d'étoiles séparées déjà existantes, il est évident que le processus de formation de l'amas était aussi le même que celui qui a donné naissance aux étoiles de cet amas. On en conclut que les étoiles peuvent se former par groupes. Il est clair aussi que les différents amas ouverts sont d'âges différents. Ceci implique qu'un grand nombre d'amas se sont formés alors que la Galaxie existait déjà.

Au moment où furent tirées ces conclusions, on n'avait pas encore compris qu'elles étaient d'importance profonde dans le problème général de l'origine des étoiles. Il semblait alors que les résultats obtenus concernaient seulement les étoiles des amas, qui ne représentaient qu'une petite partie du nombre des étoiles de la Galaxie.

A la même époque cependant, des recherches statistiques furent entreprises sur des étoiles doubles, en majorité dans la Galaxie. Ces recherches ont montré que les composantes de chaque étoile double avaient une origine commune. C'est-à-dire que les étoiles doubles ne peuvent pas avoir été produites par la combinaison d'étoiles simples, originellement indépendantes dans la population générale galactique.

La signification profonde de tous ces résultats apparut clairement seulement beaucoup plus tard, peu après la seconde guerre mondiale, lorsque l'on découvrit les associations stellaires.

LES ASSOCIATIONS STELLAIRES

Comme nous l'avons vu, les amas ouverts ont une densité d'étoiles supérieure à celle de leur espace environnant. Quoique la densité d'étoiles dans les amas ouverts soit beaucoup plus faible que dans les amas globulaires, ils présentent cependant des concentrations marquées d'étoiles si on les compare au champ d'étoiles galactiques qui les entoure. Les associations stellaires sont des groupes d'étoiles dans lesquels la densité d'étoiles est plus faible que celle du fond d'étoiles avoisinant. Ceci ne veut pas dire que les associations stellaires soient des espaces de faible densité dans la Galaxie. Les étoiles environnantes, n'appartenant pas à une association donnée, pénètrent librement dans l'espace occupé par celle-ci, et ainsi la densité globale dans ce volume est plus grande, et non plus faible, que dans l'espace environnant. Cependant, quand nous parlons de la densité de l'association, nous négligeons la densité due aux étoiles hors de l'association et nous considérons seulement les groupes d'étoiles qui en font partie. Cette densité est très faible et dans ce sens, les associations stellaires sont des groupes d'étoiles extrêmement raréfiés.

Le contraste dans la répartition de densité sera réduit par projection sur la sphère céleste. Si la densité d'espace dans la région de l'association est seulement un peu supérieure à celle de sa banlieue, alors, puisque nous observons seulement la projection sur la sphère céleste, le contraste en densité entre l'association et son voisinage sera tout à fait négligeable. Ainsi il serait presque impossible de découvrir des associations en examinant la répartition apparente de l'ensemble des étoiles, tandis que les amas ordinaires d'étoiles sont révélés de cette manière sur les cartes et photographies d'étoiles.

Le caractère principal des associations stellaires

réside dans le fait que la grande majorité des étoiles formant une quelconque association ont des caractéristiques physiques identiques; ainsi les membres des associations sont en grande partie dans des états physiques définis. Ce qui rend possible la découverte d'associations dans notre Galaxie.

Les associations stellaires peuvent être rangées dans l'une des deux catégories suivantes: (*a*) les associations O se composant d'un grand nombre de géantes chaudes, c'est-à-dire d'étoiles de classes spectrales O et B, et un nombre assez faible d'autres objets; (*b*) les associations T consistant en étoiles naines relativement froides dont un grand nombre présentent des variations irrégulières d'éclat.

Si nous dessinons une carte du ciel sur laquelle seules sont indiquées les géantes bleues (étoiles de types O et B), les associations O apparaissent immédiatement comme des concentrations d'étoiles. Il en est ainsi parce que les associations O représentent des régions très denses dans la distribution des densités des géantes bleues considérées seules.

De même si on porte sur la carte les variables irrégulières connues d'éclat faible (appelées variables du type RW Aurigae), nous trouvons que la grande majorité d'entre elles sont concentrées en certaines régions du ciel. Donc, les associations T sont des concentrations très marquées dans la distribution des densités de ces étoiles variables, considérées isolément.

Cependant, puisque toutes les géantes bleues et toutes les variables irrégulières du type RW Aurigae représentent seulement une faible partie du nombre total d'étoiles, les associations sont presque indétectables sur les cartes et les photographies directes montrant la répartition de l'ensemble des étoiles.

Néanmoins, quelques associations O, plutôt éloignées du plan galactique et relativement proches de la Terre, seront remarquées comme des groupes de grande luminosité apparente, même sur le fond général des étoiles, qui ne comporte que peu d'étoiles géantes dans cette partie du ciel. Un exemple est donné par l'association dense d'Orion. Elle comprend les étoiles brillantes de la Ceinture d'Orion et quelques autres, brillantes également.

La difficulté de découvrir directement des associations O est due au fait qu'un grand nombre d'autres étoiles de luminosité faible, mais relativement proches de nous, ont le même éclat apparent que les géantes des associations. Il en est tout autrement lorsqu'on observe d'autres galaxies. Si l'on suppose que toutes les étoiles d'une quelconque autre galaxie sont à la même distance de nous, les étoiles brillantes, en particulier les supergéantes et les géantes, se détacheront du reste en raison de leur luminosité apparente. Les associations O qui contiennent des géantes chaudes apparaîtront comme des groupes étendus d'étoiles brillantes. Un grand nombre de ces groupes sont observés, par exemple, dans le Grand Nuage de Magellan; ils apparaissent également dans le Petit Nuage de Magellan, mais d'une façon moins évidente, puisque l'éclat des étoiles les plus brillantes dans les associations est quelque peu moindre dans le Petit Nuage que dans le Grand. Les associations O se manifestent également dans la galaxie M33 et dans la galaxie irrégulière IC 1613.

Dans les galaxies éloignées où les associations stellaires ne peuvent être résolues en étoiles séparées, les associations O peuvent apparaître comme des concentrations susceptibles d'être distinguées par leur couleur: elles sont plus bleues que le reste de la galaxie.

On ne trouve pas d'associations O dans les galaxies de type elliptique et assez rarement dans celles du type Sa où elles ne sont pas remarquables, mais très fréquemment dans les spirales de type récent et dans les galaxies irrégulières. Ces faits présentent un grand intérêt. Les associations se rattachent étroitement à la structure en spirale des galaxies; elles s'étendent le long des bras de toutes les galaxies spiralées. Il est certain que cette relation entre les associations O et les bras des spirales a une signification profonde en cosmogonie. Les associations T ne peuvent être observées dans d'autre galaxies puisqu'elles se composent d'étoiles de luminosité très faible. Cependant on peut se faire quelque idée de l'existence, ou de l'absence, des associations T dans divers types de galaxies du fait que dans la plupart des cas elles sont associées à des nuages de poussières cosmiques. De là par exemple, on peut conclure qu'elles ne se trouvent pas dans des galaxies ellipsoïdales, puisque ces dernières ne contiennent aucune nébuleuse obscure remarquable.

DIMENSIONS ET STRUCTURE DES ASSOCIATIONS STELLAIRES

Comme on l'a déjà fait remarquer, la densité moyenne des associations O est beaucoup plus faible que celle des amas ouverts. D'autre part, comparées à celles de ces derniers, leurs dimensions sont une fois à une fois et demie plus importantes. Le plus grand diamètre des amas ouverts se situe

entre deux et huit parsecs,[1] tandis que les dimensions des associations O sont de l'ordre de 30 à 200 parsecs. On observe des associations encore plus importantes dans d'autres galaxies.

Habituellement une association O contient un ou plusieurs amas ouverts. Par exemple, celle d'Orion contient un amas ouvert au voisinage du Trapèze. L'association Persée 1 contient entre autres le double amas h et χ Persei déjà cité. Les amas qui sont en associations contiennent généralement, parmi d'autres étoiles, des étoiles chaudes du type O ou Bo. D'après la classification établie à l'observatoire de Byurakan, de tels amas sont appelés amas O. Les associations O contiennent en outre d'autres groupes compacts d'étoiles, le plus souvent des systèmes multiples du type représenté par le Trapèze dans la Constellation d'Orion. Ces systèmes peuvent comporter trois étoiles A, B, C, telles que les distances AB, BC et AC soient du même ordre de grandeur. Les systèmes de ce type sont instables et doivent par conséquent être très jeunes. On doit remarquer que la plupart des étoiles multiples connues (90%) ne possèdent pas cette propriété. Ainsi le fait que les systèmes du type Trapèze se trouvent la plupart du temps en association est de première importance. Un exemple est l'étoile multiple σ Orionis dans l'association d'Orion. Son étoile principale est du type O9, tandis que les quatre autres composantes sont du type B. Le Trapèze lui-même est aussi un membre de l'association d'Orion. Il est au centre de l'amas ouvert indiqué ci-dessus. Un autre exemple d'un groupe d'étoiles en association est donné par la chaîne d'étoiles de la Ceinture d'Orion comprenant des supergéantes O9 et Bo.

Les groupes fermés apparaissant dans les associations, c'est-à-dire les amas, trapèzes et chaînes, sont appelés généralement les noyaux de l'association. Toute association O peut avoir un ou plusieurs noyaux. En plus des noyaux et des étoiles isolées, les associations O contiennent également des nébuleuses gazeuses, dont le rayonnement est dû aux étoiles chaudes de l'association. Dans certains cas, les nébuleuses gazeuses se situent dans l'association de telle sorte qu'aucun doute ne subsiste sur leur relation générique avec l'un des noyaux. Par exemple, la fameuse nébuleuse NGC 1976 de l'association d'Orion est étroitement apparentée au Trapèze et à l'amas environnant. Une autre nébuleuse entoure σ Orionis, système du type Trapèze. De plus, d'après Menon, l'association d'Orion renferme de très grandes quantités d'hydrogène neutre dont la longueur d'onde de la raie d'émission est de 21 cm. Dans un seul cas, celui de l'association Persée 1, aucune nébuleuse rayonnante n'a été observée et les observations radio n'y montrent aucune radiation due à de l'hydrogène neutre.

Le caractère le plus frappant des associations T est leur relation étroite avec les nébuleuses obscures. Les membres de ces associations sont enrobés dans les nébuleuses. Ceci est un obstacle à l'étude de la répartition des étoiles dans les associations T, puisque la lumière d'un grand nombre de leurs membres est absorbée par la nébuleuse. Néanmoins, les données dont nous disposons, montrent que les associations T contiennent des concentrations séparées d'étoiles identiques aux noyaux des associations O.

Comme nous l'avons dit, les associations T contiennent des variables irrégulières du type RW Aurigae, dont certaines ont des spectres à raies brillantes, le spécimen étant la variable T Tauri. Un grand nombre de membres des associations T furent découverts en fait à partir des raies brillantes de leur spectre puisqu'elles contenaient des étoiles dont le spectre était de même type que celui de T Tauri. Cependant toutes les variables RW Aurigae ne sont pas des étoiles du type T Tauri quoique toutes les étoiles T Tauri sont apparemment des variables irrégulières du type RW Aurigae.

La question est de savoir si des associations T contiennent des naines d'éclat constant comme les variables du type RW Aurigae. Malheureusement il est difficile de répondre à cette question puisque les naines d'éclat constant appartenant aux associations T ne peuvent être distinguées de la multitude des naines identiques appartenant à la population générale des étoiles. L'étude de la structure des associations T s'en trouve limitée. Les dimensions de ces associations varient de quelques parsecs à cent parsecs. Dans certains cas, elles constituent des groupes très denses, dans d'autres elles sont raréfiées et moins denses que les étoiles environnantes.

INSTABILITÉ DES ASSOCIATIONS

Tous les systèmes stellaires de la Galaxie, y compris les amas et les associations sont soumis aux forces de marée dues au champ gravitationnel général de la Galaxie. Ces forces tendent à faire éclater le système et placer ses membres (dans ce cas les étoiles) sur des orbites indépendantes autour du centre de la Galaxie. Si la densité du

[1] Le parsec est une unité de distance utilisée en astronomie. C'est la distance à laquelle le rayon de l'orbite terrestre sous-tend un angle d'une seconde d'arc. Le parsec vaut 3,26 années-lumière, c'est-à-dire 4×10^{13} km environ.

système est élevé, l'interaction gravitationnelle entre ses membres est forte et les forces de marée n'arriveront pas à le disloquer. On a trouvé que la densité limite, au-dessous de laquelle un système éclate rapidement sous l'action des forces de marée, était du même ordre de grandeur que la densité globale de la population galactique des étoiles.

Comme la densité des amas ouverts est considérablement plus grande que celle de la population galactique, les forces de marée ne peuvent pas provoquer l'éclatement d'un amas en un temps très court. Nous avons vu d'autre part que les associations ont une densité inférieure à cette valeur critique et ainsi elles doivent se trouver disloquées par les forces de marée dès leur formation ou presque. Le temps nécessaire à ce processus est de l'ordre de 10^7 années. Il s'ensuit que l'âge des associations stellaires est de l'ordre de 10^6 années et, dans certains cas, moins encore.

L'âge moyen des étoiles de la Galaxie étant de l'ordre de milliards d'années, et puisque les associations ne peuvent pas s'être formées à partir d'étoiles indépendantes existant antérieurement, nous devons conclure que la formation des étoiles de la Galaxie est encore en cours.

On peut montrer que si une association est disloquée, sa rupture finale est précédée d'un très long étirement. Cependant un grand nombre d'associations de taille considérable sont presque sphériques. C'est le cas de l'association Persée I. La seule explication possible de ce phénomène est que les étoiles de chacune de ces associations ont été éjectées des régions centrales au moment de leur formation à des vitesses de l'ordre de plusieurs dizaines de km/sec, valeur déduite théoriquement des dimensions des associations.

A partir de l'étude des mouvements stellaires de l'association Persée II, l'astronome hollandais A. Blaauw a prouvé, en 1952, que les étoiles s'éloignent du centre de l'association à une vitesse moyenne de 12 km/sec. Ainsi se trouvait confirmée la conclusion principale de la théorie des associations stellaires. Plus tard on s'aperçut du phénomène d'expansion des associations O de Céphée II, Lacerta et d'autres encore, en étudiant le mouvement propre de leurs étoiles.

La preuve de cette expansion fut à son tour une preuve directe du fait que les membres des associations sont de jeunes étoiles et rendit possible une détermination plus précise de leur âge. L'âge des étoiles de l'association Persée II, par exemple, a été déterminé; il est de l'ordre de 1,3 millions d'années. Pour d'autres associations on a obtenu des âges de quelques millions d'années.

Cependant l'existence de plusieurs noyaux dans les associations O denses a montré qu'il n'est pas possible de réduire le mouvement de toutes les étoiles des associations à une divergence à partir d'un centre unique. Il est naturel de supposer que les différents noyaux sont des centres différents de formation d'étoiles, ainsi l'image complète des mouvements stellaires dans les associations denses doit être moins simple.

Les premières indications en ont été découvertes par Artyukhina qui a montré que dans l'association Céphée II il y a deux centres à partir desquels les étoiles divergent. L'association d'Orion est plus complexe. D'après Blaauw et Morgan, deux étoiles de type spectral primitif (AE Aurigae et μ Columbae) s'éloignent très rapidement à partir d'un point voisin de la grande nébuleuse d'Orion. Les recherches de Strand ont montré que l'amas autour du Trapèze est en expansion à la vitesse de 5 km/sec environ. Ceci veut dire que l'âge de l'amas ne peut pas excéder 3×10^5 années, ce qui s'accorde bien avec l'hypothèse que les systèmes du type Trapèze sont très jeunes. Ainsi on peut considérer comme établi que l'association d'Orion comporte deux groupes en expansion, et aussi d'autres groupes dont le mouvement est différent de celui de ces derniers. Par exemple, il est évident que les trois étoiles de la ceinture d'Orion ont une origine commune. Cependant il n'a pas encore été possible d'élucider la loi du mouvement dans ces groupes étant donné la petitesse des vitesses relatives.

La présence dans des associations O denses, de groupes isolés formés à des époques différentes et indépendamment en expansion, est un fait important que l'on doit prendre en considération dans toute tentative de reconstitution de l'origine des associations O.

ORIGINE DES ASSOCIATIONS O

Si nous remontons dans le temps l'évolution d'une association, nous trouvons que chaque groupe en expansion doit avoir, à une certaine époque, occupé un volume très inférieur au volume actuel. Cependant la question primordiale reste de connaître le volume du groupe en expansion lorsque ses étoiles se sont séparées du corps primitif pour former des éléments distincts. Il faut évidemment supposer que la luminosité de ces éléments à leurs stades primitifs peut avoir été tout à fait différente de celle qui en a résulté lorsque chacun d'eux est devenu une étoile d'état plus ou moins stable.

Le fait que des systèmes du type Trapèze sont

observés dans les associations — systèmes instables de dimensions 0,1 parsec seulement — indique que le volume initial peut avoir été très faible. Si nous allons plus loin, en postulant qu'au stade primitif de leur développement, les trapèzes étaient des groupes encore plus denses, nous arrivons à la conclusion que les corps préstellaires à partir desquels s'est formé le groupe en expansion, étaient de densité élevée. Leurs masses également doivent avoir été très importantes, quelques centaines ou milliers de fois la masse du Soleil. Ni l'observation, ni la théorie n'indique que des configurations en équilibre de telles masses peuvent exister dans les dimensions de l'ordre des rayons stellaires ou de quelques ordres de grandeur plus élevés. Cependant l'auteur du présent article a émis l'hypothèse que les corps préstellaires étaient «superdenses». La densité de cette «proto-étoile» peut avoir été du même ordre que celle d'une nébuleuse atomique. Il se peut que l'éclat des proto-étoiles dans cet état soit très faible et qu'ainsi nous ne les ayons pas encore observées.

Cependant on doit insister sur le fait qu'une théorie logique n'a jamais été élaborée jusqu'ici au sujet de la structure de telles proto-étoiles, théorie qui expliquerait comment la matière s'est transformée par la suite en étoiles ordinaires s'éloignant les unes par rapport aux autres à des vitesses considérables.

Une manière moins hypothétique suivant laquelle les associations stellaires pourraient s'être formées, a été suggérée par J. H. Oort. D'après lui, une étoile du type O d'une nébuleuse de grande masse produit un échauffement et une augmentation des parties internes de la nébuleuse. Le résultat en est qu'une compression de gaz apparaît dans la région limite entre les parties internes échauffées et les parties externes; du fait de l'instabilité gravitationnelle des condensations qui en résultent, il y a formation d'étoiles aux limites de la nébuleuse, et ces étoiles s'éloignent de son centre. D'après l'auteur, il semble que cette théorie soit en contradiction avec le fait observé: on a trouvé des systèmes multiples du type Trapèze, c'est-à-dire des groupes de très jeunes étoiles dans le centre réel des nébuleuses.

Notons que l'idée de la formation des étoiles à partir de nébuleuses gazeuses est en accord avec la théorie cosmogonique traditionnelle de tous les objets célestes formés à partir de nébuleuses. Cependant notre supposition que les groupes d'étoiles se sont formés à partir de proto-étoiles superdenses conduit nécessairement à la conclusion que les étoiles et les nébuleuses ont pris naissance simultanément à partir d'une proto-étoile. D'après cette théorie, l'expansion d'un groupe d'étoiles et celle des nébuleuses sont des phénomènes qui se rattachent l'un à l'autre, causés par l'éclatement d'une proto-étoile. Il faut remarquer que la formation des nébuleuses en expansion à partir d'objets denses (supernovae, nébuleuses planétaires) est déjà familière en astronomie. Ainsi notre point de vue sera en accord, dans une certaine mesure, avec une tendance dont l'existence dans la nature est connue.

ÉTOILES INSTABLES

Comme nous l'avons vu, les membres des associations T sont des étoiles doubles du type RW Aurigae. Ces étoiles montrent des variations de brillance excessivement irrégulières. Cependant il est certain qu'elles ne sont pas en état stable. Ceci est naturel puisque les associations T sont des étoiles jeunes.

Cependant, les caractères spectraux intéressants de quelques-uns de ces objets imposent la conclusion qu'il y a non seulement émission de radiations thermiques comme celles que nous recevons des étoiles ordinaires, mais aussi de rayonnement non thermique (ondes radio-électriques solaires, etc.). Ce dernier est dû à une cause inconnue qui agit de temps en temps dans les atmosphères des étoiles instables. Quel que soit le mécanisme actuel d'émission de ce rayonnement non thermique, il est clair maintenant qu'il contient de l'énergie libérée par certaines sources puissantes à partir des couches externes de l'étoile. Ainsi dans ces étoiles, des phénomènes de libération d'énergie ont lieu non seulement dans les régions centrales, mais aussi dans les couches extérieures de l'atmosphère.

L'astronome mexicain Haro a montré que certaines étoiles non stables des associations T sont en «éruption», leur luminosité augmentant de plusieurs fois sa valeur en quelques minutes. Dans ce cas l'énergie libérée dans l'atmosphère à partir de sources inconnues est émise au cours d'une période très courte et le processus d'émission de l'énergie est explosif. Comment expliquer ces phénomènes?

Puisque les étoiles non stables discutées ici sont des objets jeunes formés à partir de la matière préstellaire superdense, nous pouvons supposer qu'une partie de cette matière non encore convertie en matière stellaire ordinaire subsiste en eux. Lorsque les condensations de matière superdense restant dans l'étoile atteignent les couches extérieures de son atmosphère, elles sont transformées en matière ordinaire, de grandes quantités d'énergie étant libérées.

Ainsi nous arrivons à l'idée de condensations presque stables de matière superdense (de densité nucléaire) qui se disloquent spontanément dans les couches externes et libèrent de l'énergie par quantités discrètes, ceci à l'inverse de l'évolution suivant des processus thermonucléaires, comme dans toutes les étoiles. Ces libérations d'énergie sont alors observées comme des éruptions d'étoiles instables.

LES OBJETS DE HERBIG-HARO

Nous avons vu que les associations O comprennent des systèmes multiples du type Trapèze, qui sont des groupes très compacts et de toute apparence, des objets très jeunes. Les associations T renferment des objets qui dans une certaine mesure, correspondent au Trapèze. Ce sont les objets de Herbig-Haro, petites nébuleuses ayant un diamètre de quelque 10^4 unités astronomiques (l'unité astronomique est le rayon moyen de l'orbite terrestre), chacune d'elles contenant plusieurs condensations semblables à des étoiles. L'arrangement à l'intérieur de ces condensations est semblable à celui des étoiles dans les systèmes multiples du type Trapèze.

Les spectres des nébuleuses contenant ces condensations sont identiques à ceux des petites nébuleuses autour de T Tauri. Cependant un grand nombre des caractères spectraux qui permettent de distinguer ces dernières nébuleuses sont beaucoup plus marqués dans les objets de Herbig-Haro. Ceci a conduit l'auteur à suggérer que dans ce cas il s'agit de groupes d'étoiles tout au début de leur existence comme les étoiles T Tauri.

Ce point de vue a été confirmé par le travail de Herbig qui a trouvé qu'en 1954 deux nouvelles condensations stellaires, invisibles antérieurement sur les photographies, sont apparues dans l'un des objets de Herbig-Haro. Il est difficile de dire si nous sommes ici les témoins directs de la formation de nouvelles étoiles ou si cette observation indique les phénomènes étranges et puissants apparaissant lors de la naissance d'une étoile. Cependant l'étude de ces phénomènes nous conduirait sans aucun doute plus près encore d'une compréhension de l'origine des étoiles.

CONCLUSION

Nous voyons que les résultats obtenus par les astronomes au cours des dix ou quinze dernières années et en particulier les données relatives aux associations stellaires, nous ont amenés bien près de la solution des problèmes se rattachant à l'origine des étoiles.

Les résultats les plus importants se rapportent aux processus de formation des étoiles: ceux-ci ne sont pas encore terminés dans notre galaxie et d'autres galaxies spiralées; d'autre part ces étoiles sont organisées en groupes. Il est certain aussi que la formation des groupes en expansion dans les associations se rattache à l'expansion des nébuleuses gazeuses qui en font partie.

Cependant les étoiles disposées en associations ont, en règle générale, des mouvements tels qu'elles ne s'éloignent pas du plan galactique. Le processus considéré ici peut expliquer par conséquent, au mieux, l'origine de cette seule partie de la population stellaire qui forme le «sous-système plan». Nous entendons par là le disque galactique et les bras de spirales.

Cependant il y a un autre — ou plutôt plusieurs autres — sous-systèmes, les sous-systèmes sphériques, dont les membres peuvent être très éloignés du plan galactique. L'un de ces sous-systèmes sphériques contient les amas globulaires, un autre les Céphéides de courtes périodes du type RR Lyrae, étoiles variables dont la période de variation en luminosité est de moins d'un jour.

La question soulevée est celle de l'origine de ces objets variés. D'après une certaine théorie (Baade, Schwarzschild, Spitzer), tous les objets des sous-systèmes sphériques sont vieux, d'âges supérieurs à 3×10^9 années. Ils sont constitués à partir d'objets des sous-systèmes plans qui ont acquis des vitesses permettant à quelques-uns d'entre eux de s'éloigner du plan galactique.

Un autre point de vue (celui de Kukarkin) qui semble plus vraisemblable à l'auteur, est que l'âge global des étoiles dans les sous-systèmes sphériques ne régit pas l'existence des objets jeunes qui y sont contenus.

L'hypothèse de la formation de groupes d'étoiles se produisant parmi ces objets est confirmée par la présence des amas globulaires. Puisque ces derniers ne sont jamais associés aux nébuleuses gazeuses remarquables, il est évident que ceux qui soutiennent le point de vue traditionnel que les étoiles sont formées à partir de nébuleuses doivent nier le fait que les jeunes étoiles peuvent exister parmi les membres des sous-systèmes sphériques; mais ceux qui croient plus probable que les étoiles et les nébuleuses se forment à partir d'une troisième espèce d'objet, le proto-astre, ne verront aucune raison s'opposant à la formation continue des étoiles, même parmi la population des sous-systèmes sphériques.

Nous pouvons espérer que les années à venir apporteront une solution également à ce problème.

Revue des livres

SCIENCES GÉNÉRALES

CONANT, J. B., publié par: *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Vol. I, pp. XVI + 321; Vol. II, pp. VII + 325–639. Harvard University Press, Cambridge, Mass.; Oxford University Press, Londres. 1958. 80s. les deux volumes.

Le Dr. Conant est particulièrement bien placé, grâce à sa longue et brillante carrière de chercheur chimiste, de professeur, d'administrateur et de diplomate, pour apprécier les difficultés du profane en ce qui concerne les méthodes et la tactique scientifiques. Il constate que les points essentiels échappent presque toujours même à un individu intelligent et cultivé mais sans expérience en recherche scientifique, non pas à cause de son ignorance des faits ou de la terminologie de la science mais de son incompréhension totale des limites et des possibilités de celle-ci. Et pourtant, en tant que fonctionnaire, juriste ou homme d'affaires, cet homme devra peut-être donner son opinion sur l'organisation et le financement d'un projet scientifique ou technique.

Le problème n'a pas de solution évidente mais il semble au Dr. Conant que l'étude de cas particuliers historiques renseignera le profane sur les méthodes du développement scientifique et lui donnera un point de vue critique mais compréhensif sur la recherche expérimentale dans le domaine où il pourrait être appelé à prononcer un jugement. «La connaissance poussée de quelques cas historiques seulement l'aidera à s'orienter dans les passages difficiles de l'exposé d'un projet en cours.»

Parmi les cas choisis, habilement et minutieusement présentés, on note les expériences de Boyle en pneumatique, le rejet de la théorie phlogistique, la formation des concepts de température et de chaleur, la théorie atomique moléculaire, la relation des plantes et de l'atmosphère, l'étude de la fermentation par Pasteur, l'étude de Pasteur et Tyndall sur la génération spontanée et le développement de la notion de charge électrique.

Bien que rien ne remplace véritablement en science la discipline acquise au laboratoire, ces volumes rempliront certainement leur but dans une grande mesure. E. J. HOLMYARD

ASTRONOMIE

AMBARTSUMYAN, V. A., directeur de publication: *Theoretical Astrophysics*. Traduit du russe par J. B. Sykes. Pp. XII + 645. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 135s.

Apport compétent et de valeur à la littérature sur le sujet. Ce volume substantiel traite surtout de la théorie nécessaire à l'interprétation immédiate des observations. La plus grande partie du livre s'occupe donc des diverses atmosphères et des spectres stellaires d'étoiles normales puis d'étoiles spéciales (nébuleuses planétaires, novae et étoiles à ligne brillante). Il y a une section importante sur les couches extérieures du Soleil, comprenant une étude de l'électrodynamique de l'atmosphère solaire et des émissions d'ondes hertziennes. La question du transfert par rayonnement dans l'atmosphère planétaire et celle de la matière interstellaire sont aussi traitées. Conformément à l'intention de l'ouvrage, la constitution interne des étoiles n'est que brièvement étudiée.

Les aspects physiques sont très poussés mais on n'y trouve que le minimum de mathématiques; les points douteux ou difficiles sont nettement indiqués. Le livre pourra donc servir à la fois de manuel d'étudiants et de guide aux chercheurs. Et, bien que les auteurs aient cherché à décrire tous les travaux existants connus, les lecteurs de langue anglaise seront surpris d'y découvrir l'ampleur des travaux russes récents. Le texte a été revu pour la traduction et un gracieux hommage inséré à l'intention des auteurs britanniques. Le traducteur a fait une œuvre remarquable. W. H. McCREA

CHIMIE

BASOLO, F. et PEARSON, R. G.: *Mechanisms of Inorganic Reactions*. Pp. XI + 426. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 94s.

Un certain nombre d'excellents ouvrages ont paru ces dernières années sur les composés de coordination et l'utilité d'un nouveau volume sur la question est discutable à l'heure actuelle. Mais celui-ci sera bien accueilli car il traite d'un aspect de la chimie de coordination auquel on s'intéresse de plus en plus: les mécanismes de réactions des composés complexes. Après l'utile introduction, on trouve exposés clairement la théorie de la liaison coordonnée, les réactions de substitution des complexes octaédriques et carrés, la stéréochimie des réactions de substitution des complexes octaédriques, les réactions oxydation-réduction et les effets catalytiques des composés de coordination. L'auteur fait remarquer qu'il y a trois théories à l'heure actuelle sur la constitution, les stabilités et les propriétés générales de ces composés. Ce sont la théorie de la liaison valentielle, la théorie orbitale moléculaire et la théorie électrostatique avec les corrections de champ cristallin. Il admet que toutes trois peuvent expliquer qualitativement les caractères principaux des complexes, mais la troisième est bien supérieure au point de vue quantitatif. W. WARDLAW

SHOPPEE, C. W.: *Chemistry of the Steroids*. Pp. VII + 314. Butterworths Scientific Publications Ltd., Londres. 1958. 50s.

Les stéroïdes présentent un problème si complexe d'analyse de structure, puis de synthèse et de biosynthèse qu'il fallut mettre au point de nouvelles méthodes d'analyse et de synthèse pour les élucider. Ces cadres non-aromatiques mais assez rigides d'atomes de carbone encouragèrent l'étude de la substitution et de l'élimination aliphatiques, des différences de rotation, de la dispersion rotatoire et des spectres d'absorption. Leur importance en physiologie animale stimula l'invention de nouveaux procédés chimiques permettant la production de stéroïdes rares mais puissants à partir de matières premières courantes.

On entrevoit ici ces vastes perspectives au travers d'un texte très dense. En utilisant la description avec un minimum d'explications, le Professeur Shoppee a réussi pleinement à faire un exposé concis de l'état des connaissances sur les stéroïdes en 1955–56; l'omission principale est celle des alcaloïdes stéroïdes à peine mentionnés. Le travail est bien présenté, clairement rédigé et habituellement exact. Les formules sont bien disposées et l'impression, excellente. J. W. CORNFORTH

PALÉONTOLOGIE

PIVETEAU, Jean: *Traité de paléontologie*. Vol. VII, *Primates: paléontologie humaine*. Pp. 675. Masson et Cie., Paris. 1958. Broché, 12 000 fr.; relié, 12 800 fr.

Le septième et dernier volume de ce traité complet de paléontologie française fait l'étude des Primates fossiles surtout par rapport à l'origine de

l'homme. Etant l'œuvre du paléontologiste distingué qu'est le Professeur Piveteau, de la Sorbonne, il va sans dire que c'est un ouvrage entièrement compétent qui fera autorité. Mais il a aussi le mérite d'appliquer des principes paléontologiques bien établis à un domaine de l'évolution beaucoup trop souvent exposé par des auteurs à peine versés dans l'étude et l'interprétation des matériaux fossiles. Un tiers du volume environ traite des Primates inférieurs non-hominides. On aurait aimé voir cette partie considérablement développée, car les compte rendus de tant de spécimens importants des premiers Primates sont dispersés dans tant de revues différentes qui ne sont pas toutes d'accès facile. Le reste du livre couvre ce que l'on appelle souvent de façon générale «paléontologie humaine». L'auteur divise l'évolution hominide en deux phases: la première, de beaucoup la plus longue, retraçant le développement progressif des représentants préhumains des Hominides et la seconde, marquant l'apparition de l'«homme» véritable—c'est-à-dire d'un être ayant les attributs (tels que le cerveau volumineux et la capacité de fabriquer des outils) que l'on associe ordinairement aux termes courants d'«homme» et d'«humain». Des premiers fossiles nettement compris dans les Hominides, les plus intéressants sont peut-être les êtres à petit cerveau dont on a trouvé les restes en si grand nombre en Afrique du Sud: les Australopithèques. Les plus anciens représentants de l'«humanité», au sens où Piveteau entend ce terme, sont les squelettes du *Pithecanthropus* datant du Pléistocène inférieur ou moyen et, de ce type ancien à l'*Homo sapiens*, la série fossile est assez continue. Le livre s'impose sans aucun doute à tous les étudiants de la paléontologie des Primates comme œuvre de référence classique. W. E. LE GROS CLARK

BIOLOGIE

BARNETT, S. A., directeur de publication: *A Century of Darwin*. Pp. XVI + 376. William Heinemann Ltd., Londres. 1958. 30s.

Ces 15 essais ne cherchent pas, en général, à retracer l'évolution de la pensée en biologie depuis l'époque de Darwin. La plupart exposent simplement la position actuelle sur quelque point, important ou non, déjà étudié par le savant et qui nous intéresse encore. L'ensemble constitue un hommage à Darwin plus frappant qu'une chronique élogieuse car sa pensée paraît constamment être en accord complet avec les travaux actuels.

Les collaborateurs distingués du Dr. Barnett l'ont bien servi. Les essais sont tous clairement rédigés et plairont également au biologiste de profession, à l'étudiant et au naturaliste sérieux. Citons surtout ceux de T. Dobzhansky sur le problème de l'espèce, de C. M. Yonge sur les récifs de corail et de J. Heslop-Harrison sur Darwin botaniste. L'annonce par D. Michie de la venue d'un troisième stade en génétique nous semble stimulante mais l'iconoclasme de R. A. Crowson en ce qui concerne les problèmes de classification paraîtra malvenu au non-spécialiste. Les essais de J. Maynard Smith sur la sélection sexuelle et de W. E. Le Gros Clark sur la descendance de l'homme sont tous les deux admirables. D. R. NEWTH

BIOCHIMIE

WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, Maeve, publié par: *Ciba Foundation Symposium on the Chemistry and Biology of Mucopolysaccharides*. Pp. XII + 323. J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1958. 54s.

Les mucopolysaccharides et mucoprotéines sont des corps renfermant des hydrates de carbone et des aminoacides macromoléculaires complexes. Leur constitution chimique détaillée est encore mal connue bien que leur importance biologique soit remarquable, car ce sont des constituants essentiels de la cellule vivante. Cette étude d'un assez petit groupe cosmopolite de spécialistes réunis par la Fondation Ciba sous la présidence compétente de W. T. J. Morgan arrive à un moment opportun.

Les techniques générales de chimie organique appliquées aux problèmes de structure du groupe sont passées en revue par M. Stacey, la méthode d'approche physico-chimique est décrite en se rapportant aux acides hyaluroniques par A. G. Ogston, tandis que le nouveau procédé immunochimique d'établissement de formule est brillamment exposé par E. A. Kabat. Cette dernière méthode, demandant l'inhibition spécifique de réactions immuno-chimiques complexes au moyen de disaccharides et d'oligosaccharides de structure connue, a déjà aidé à mieux comprendre l'architecture moléculaire de facteurs de groupes sanguins et de polysaccharides particulières au pneumocoque et autres bactéries.

On trouve le compte rendu de plusieurs études de Jeanloz, Partridge, Dische et collègues sur les mucopolysaccharides renfermant du sucre aminé sulfaté, avec mention spéciale du complexe de sulfate de chondroïtine trouvé dans le cartilage et des constituants du tissu conjonctif. Il y a un exposé stimulant de Meier sur les effets pharmacologiques des polysaccharides et un article important de Westphal sur les composants des bactéries qui ne prennent pas le gram. Parmi les autres points intéressants étudiés, on note les saccharides contenant de l'azote du lait humain (Gyorgy), les corps spécifiques des groupes sanguins (Morgan) et les mucopolysaccharides du mucus épithélial (Odin), du plasma (Winzler) et de l'urine (Maclagan, Anderson). Les chapitres les plus importants sont peut-être ceux qui décrivent le groupe sialique (neuraminique) de composés et leurs rapports avec le virus de la grippe. L'acide sialique fut découvert il y a plus de 20 ans par Blix dans le mucus sous-maxillaire et il réussit par la suite à le cristalliser malgré sa grande labilité. Klenk obtint le même corps par la dégradation de gangliosides et on le retrouve sous forme libre ou liée partout où l'on étudie les tissus sains ou malades. Les spécialistes Blix, Klenk, Gottschalk, Svennerholm et autres mettent le sujet à jour. M. STACEY

AGRICULTURE

HUDSON, J. P., directeur de publication: *Control of the Plant Environment*. Pp. XVI + 240. Butterworths Scientific Publications Ltd., Londres; Academic Press Inc., New-York. 1957. 42s.

Les conférences de l'Ecole d'Agriculture de l'Université de Nottingham sont rapidement devenues un point de contact de valeur entre les sciences biologique et agricole. Le Professeur Hudson n'a pas perdu de temps à nous présenter le compte rendu de la conférence de Sutton Bonnington en 1957.

Le thème central des articles et des discussions est l'étude de la croissance et du développement des plantes dans des conditions contrôlées. Les physiologistes végétaux et tous ceux qui ont affaire aux problèmes fondamentaux de la culture y trouveront beaucoup de choses intéressantes: c'est avant tout un livre pour le spécialiste.

On compte 10 apports principaux dans les deux premières parties. Certains font une revue générale de la

croissance et du développement des plantes et sont de qualité inégale; d'autres traitent d'aspects plus précis du sujet tels que l'influence de facteurs comme la température, l'intensité lumineuse, le vent et l'humidité du sol. L'auteur insiste plutôt sur les conditions climatiques qu'édaphiques. La suite du livre s'occupe des installations et de l'équipement mis au point pour varier expérimentalement les conditions du milieu de croissance des plantes. Les dispositifs étudiés vont des simples chambres et vitrines de croissance aux phytotrons. Les exposés ne sont pas toujours détaillés mais ils intéresseront certainement les expérimentateurs d'un domaine qui se développe rapidement.

E. W. YEMM

HISTOIRE DE LA SCIENCE

SCOTT, J. F.: *A History of Mathematics*. Pp. x+266. Taylor and Francis Ltd., Londres. 1958. 63s.

Compte rendu bref et captivant du développement des mathématiques depuis le papyrus de Rhind jusqu'aux *Disquisitiones Arithmeticae* de Gauss. Sa valeur spéciale tient à la reproduction exacte des mots et des symboles employés par les grands maîtres dans certaines de leurs œuvres les plus caractéristiques. Il reconnaît aussi généreusement les difficultés éprouvées par ceux-ci. L'ordre chronologique exact est sacrifié à celui du développement logique et naturel des idées. L'ouvrage est illustré de cinq magnifiques photos de textes mathématiques classiques et fait brièvement la biographie des plus illustres représentants de cet art.

G. TEMPLE

HABER, L. F.: *The Chemical Industry during the Nineteenth Century*. Pp. x+292. Oxford University Press, Londres. 1957. 45s.

Œuvre agréable, originale et objective, bien documentée et accompagnée d'une bonne bibliographie. C'est, paraît-il, «l'étude des aspects économiques de la chimie appliquée en Europe et en Amérique du Nord». Mais on y trouve aussi les effets de l'enseignement de la chimie — parfois nettement insuffisant — sur la croissance de l'industrie chimique, sans oublier les questions de main-d'œuvre et les facteurs sociologiques. On y trouve du nouveau à plusieurs points de vue et les chimistes en général accueilleront bien un ouvrage qui met en lumière les relations de la Grande-Bretagne et du Continent. En dépit du titre ambitieux, le Dr Haber traite surtout des branches de l'industrie chimique se rapportant aux acides, aux alcalis, au chlorure de chaux et aux colorants et, tout compétent qu'il soit, le tableau n'est pas complet. Il semble incongru de déclarer que la chimie au XIXe siècle avait enfin cessé d'être «la servante de la médecine et de la métallurgie», puis de laisser de côté ces deux aspects importants et de la présenter comme l'esclave des industries textiles. Admettons cependant que les manufactures choisies restèrent primordiales pendant une bonne partie du XXe siècle.

C'est une œuvre intéressante et instructive, si riche que tout étudiant de chimie devrait la posséder. Les chimistes plus expérimentés devront naturellement la lire, s'ils ne l'ont pas fait déjà. Les économistes et les sociologues feront bien de la consulter.

F. W. GIBBS

DE SANTILLANA, Giorgio: *The Crime of Galileo*. Pp. XVI+339. William Heinemann Ltd., Londres. 1958. 30s.

Galilée écrivit en 1613 au Père Benedetto Castelli, défendant contre les critiques ecclésiastiques l'hypothèse copernicienne du mouvement de la terre et citant l'Ecriture sainte. La lettre causa quelque commotion, surtout parmi les membres les moins érudits et les moins haut placés de l'Eglise, mais il était clair que celle-ci n'avait pas l'intention de réagir vigoureusement contre l'auteur, s'il ne recherchait pas, de son côté, une décision. Galilée, toutefois, comme d'autres grands hommes, avait un esprit brillant mais acerbe, plus enclin à la polémique qu'aux ménagements. Il lui était donc particulièrement difficile de souffrir les sots, même haut placés, avec le résultat que l'on sait. Comment il provoqua une décision qu'il était dans son intérêt d'éviter est, dans ses grandes lignes, une histoire bien connue.

L'érudit auteur fait ici une enquête détaillée sur les événements compliqués, les personnages et les intrigues qui aboutirent au procès de l'Inquisition en 1633 et relate le procès lui-même et ses conséquences. Plusieurs des personnages en question, dont le Cardinal Bellarmine et le Pape Urbain VIII, sont sérieusement étudiés à cette occasion. L'œuvre révèle une connaissance détaillée du cadre historique et de l'atmosphère générale du temps en Italie.

Le mariage de l'Italie classique et de l'Amérique moderne réalisé dans le langage de la traduction est probablement voulu, car un des buts de l'auteur est de montrer la similarité entre les Etats-Unis actuels et l'Italie de Galilée quant à l'attitude de l'Etat et de l'Eglise envers la science. On regrette que dans une œuvre de cette érudition les notes bibliographiques aient été si négligées. Des extraits d'ouvrages contemporains sont cités sans aucune indication d'origine et des livres en italien et en latin sont mentionnés par des titres anglais sans même une allusion à leur langue d'origine.

E. N. DA C. ANDRADE

DUGAS, René: *A History of Mechanics*, traduite du français par J. R. Maddox. Pp. 671. Routledge and Kegan Paul Ltd., Londres. 1957. 100s.

L'auteur a entrepris ici la tâche formidable de retracer l'histoire de la mécanique sous tous ses aspects depuis les spéculations d'Aristote jusqu'aux réalisations de Broglie et de Dirac, étudiant avec le même soin l'œuvre de Jérôme Cardan et d'Arthur Compton, de Jean Buridan et de Niels Bohr. Le titre des cinq parties, dont les quatre premières sont à peu près de la même longueur et la dernière un peu plus longue, pourrait le mieux donner une idée de l'ampleur de l'ouvrage. Ce sont *The Origins*, allant jusqu'à l'époque de Tartaglia et aux lois de Képler; *The Formation of Classical Mechanics*, comprenant Stevin, Huygens et Newton; *The Development of the Principles of Classical Mechanics in the XVIIIth Century*, traitant des découvertes effectuées depuis Jean Bernoulli jusqu'à Lagrange; *The Evolution of Classical Mechanics after Lagrange*, envisageant les progrès de Laplace à Helmholtz, avec les critiques pénétrantes de Henri Poincaré et, finalement, *The Principles of the Modern Physical Theories of Mechanics*, allant de la découverte de la relativité aux progrès effectués récemment en mécanique quantique par Heisenberg et Schrödinger.

M. René Dugas possède la largeur d'esprit et de cœur, la profondeur d'érudition et de connaissances nécessaires à une telle entreprise. Le livre, très bien accueilli sous sa forme originale, recevra certainement le même accueil en anglais.

Parmi les quelques petits défauts, citons la négligence de l'origine newtonienne de la théorie de la mécanique ondulatoire, mais n'insistons pas quand le niveau est si élevé et la tâche si ardue.

E. N. DA C. ANDRADE

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

CHISHOLM, J. S. R. et DE BORDE, A. H.: *An Introduction to Statistical Mechanics*. Pp. IX + 160. Pergamon Press, Londres. 1958. 35s.

Les auteurs font ici une adaptation de la méthode Darwin-Fowler pour présenter la mécanique statistique d'équilibre à l'étudiant incomplètement initié au calcul intégral complexe. Ils s'arrêtent spécialement à la Troisième Loi de la thermodynamique et s'efforcent tout au long de conserver l'équilibre entre théorie et applications.

DEMEREC, M., directeur de publication: *Advances in Genetics*, Vol. IX. Pp. VIII + 294. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1958. $8,80.

Ce livre renferme six études de longueur moyenne sur les sujets suivants: génétique de population de *Drosophila robusta*, par H. L. Carson; génétique des Basidiomycètes par H. P. Papazian; analyse génétique basée sur le rarrangement mitotique par G. Pontecorvo et E. Käffer, schéma à huit chromosomes d'*Aspergillus nidulans* par E. Käffer, non-viabilité, faiblesse et stérilité des hybrides interspécifiques par G. L. Stebbins et mécanisme de la détermination sexuelle chez les plantes à fleurs dioïques, par M. Westergaard. Les articles s'adressent aux chercheurs spécialistes de ces questions et domaines apparentés et sont accompagnés de listes d'ouvrages à consulter. Il y a aussi un index des sujets et des auteurs.

KUNIN, R.: *Ion Exchange Resins* (2e édition). Pp. XIII + 466. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 88s.

L'emploi accru des résines à échange d'ions a nécessité une révision poussée de la première édition parue il y a huit ans. Les sections sur les membranes permosélectives, l'hydrométallurgie, le raffinage du sucre et les résines à échanges spécifiques ont été développées en chapitres et il y a des additions sur les échangeurs d'ions liquides, la catalyse, la stabilité et l'emploi des résines à échange d'ions. Comme la précédente, cette nouvelle édition fait un tableau d'ensemble du sujet, à l'intention de ceux qui n'en connaissent qu'une partie.

HAÏSSINSKY, M., directeur de publication: *Actions chimiques et biologiques des radiations*. 3e partie. Pp. 222. Masson et Cie, Paris. 1958. Broché, 4 000 fr.; relié, 4 800 fr.

Ouvrage divisé en trois parties. La première, de M. Burton, traite de la radiolyse des liquides organiques. La seconde, de A. Chapiro et M. Magat, s'occupe des polymérisations résultant de radiations et la troisième, de A. Charlesby, de l'effet des radiations à forte énergie sur les polymères. Le livre s'adresse au non-spécialiste de même qu'au radiochimiste et radiobiologiste.

The Effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries. Pp. IX + 137. Publié par la National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C. 1957. $2.

Cette étude fait partie d'une série de publications commencée en 1955 sur les effets biologiques des radiations atomiques. Les premiers compte rendus étaient intitulés «Rapports résumés des effets biologiques des radiations atomiques» et cet exposé relate la continuation des travaux d'un des comités. Les treize chapitres traitent en détail de l'emploi de l'océan comme réceptacle de produits radioactifs artificiels et des techniques de marquage utilisées pour la mesure de phénomènes physiques et chimiques de la mer et de l'atmosphère ainsi que pour des expériences biologiques en grand.

Extra Pharmacopoeia, Vol. I, 24e édition. Pp. XXX + 1695. The Pharmaceutical Press, Londres. 1958. 65s.

Ouvrage entièrement revu depuis la dernière édition. A l'exemple de la *British Pharmacopoeia* et du *British Pharmacopoeia Codex*, les titres principaux de produits sont maintenant en anglais et non plus en latin. On y trouve la liste des changements effectués dans la *British Pharmacopoeia*, la liste des produits avec leurs doses et emplois. Il y a aussi des sections spéciales sur les antibiotiques, les corps immunologiques et les isotopes radioactifs. L'ouvrage comprend un index thérapeutique ainsi qu'un index spécial.

LOVELACE, A. M., POSTELNEK, W. et RAUSCH, D. A.: *Aliphatic Fluorine Compounds*. Pp. X + 370. Reinhold Publishing Corporation, New-York; Chapman & Hall Ltd., Londres. 1958. 100s.

On trouve ici la préparation et les propriétés de tous les composés organiques non-aromatiques connus du fluor. Les détails pratiques de préparation ne figurent pas, mais des notes renvoient aux ouvrages appropriés. Il y a 60 tables de propriétés physiques sur 4 500 composés organiques du fluor. Le livre s'adresse aux pharmaciens, ingénieurs-chimistes et chercheurs.

SAVIDAN, L.: *La chromatographie*. Pp. VII + 109. Dunod, Paris, 1958. 680 fr.

Ce petit volume fait d'abord la théorie de la chromatographie, puis décrit les méthodes, les appareils et les applications de cette nouvelle technique. Il n'essaie pas de supplanter les ouvrages de référence classiques, mais s'adresse aux étudiants de chimie, chimistes, biologistes et autres désirant une introduction claire et concise à la chromatographie.

COMAR, C. L.: *Atomic Energy and Agriculture*. Pp. X + 450. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C.; Bailey Bros. & Swinfen Ltd., Londres. 1957. 86s.

Compte rendu d'une conférence tenue à Atlanta en décembre 1955. Vingt-deux articles y figurent et les sujets traités comprennent l'emploi des radio-isotopes dans la recherche agricole, le traitement par radiation des denrées ainsi que la solubilité et l'utilisation par les plantes des microaliments. Les articles sont accompagnés de bibliographies poussées.

JUNG, J.: *Précis de pétrographie*. Pp. 314. Masson et Cie., Paris. 1958. Broché: 3 600 fr.; relié: 4 600 fr.

Manuel d'introduction pour les étudiants sur l'emploi du microscope polarisant en pétrographie. Il cherche à montrer comment cet instrument peut renseigner sur la constitution minéralogique des roches, leur histoire et leur parenté. Il y a un grand nombre d'illustrations au trait et en demi-teintes et un index développé.

Notes biographiques sur les collaborateurs

GLENN T. SEABORG
A.B., Ph.D., D.Sc., LL.D.,

Fit ses études à l'Université de Californie. Il collabora à la découverte de neuf éléments transuraniques, plutonium compris, et des isotopes fissibles Pu^{239} et U^{233}. Il inventa le concept des actinides pour la classification des éléments lourds dans la table périodique. Reçut le Prix Nobel de Chimie, avec E. M. McMillan, en 1951 en reconnaissance de ses travaux sur les éléments transuraniques. Il mit au point presque seul, pendant la guerre, le procédé chimique de séparation du plutonium à Clinton, dans le Tennessee et à Hanford, Washington. Il siégea comme membre du Conseil Consultatif de la Commission d'Energie Atomique de 1946 à 1950. En 1945 il occupe une chaire dans le Département de Chimie et en 1954 il est nommé Directeur-adjoint du *Radiation Laboratory* de l'Université de Californie, à Berkeley. Il dirige les recherches de chimie nucléaire au même établissement de 1954 à 1958. Il est à présent Chancelier de cette Université.

E. N. DA C. ANDRADE
D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S.

Est né à Londres en 1887 et a étudié aux Universités de Londres, Manchester et Heidelberg ainsi qu'au Laboratoire Cavendish de Cambridge. Fut nommé en 1928 à la chaire Quain de Physique à l'Université de Londres. Il enseigna quelques années à l'*Artillery College* (appelé maintenant *Royal Military College of Science*). En janvier 1950, il fut nommé Directeur de la *Royal Institution of Great Britain* et du *Davy Faraday Research Laboratory*, mais en 1952 donna sa démission. Il est Membre Correspondant de l'Académie des Sciences.

B. E. JUNIPER
B.A.,

Naquit en 1932 et étudia à la *St Catherine's Society*, Oxford. Il étudie actuellement la rétention des liquides à la surface des feuilles en rapport avec l'emploi des herbicides.

N. D. OPDYKE
B.Sc., Ph.D.,

Naquit en 1932 et fit ses études à New Jersey, U.S.A. Obtint ses diplômes de géologie à *Columbia University* en 1955 et passa trois ans au Département de Géologie de *King's College*, Newcastle-upon-Tyne, étudiant les paléoclimats. Il est en ce moment titulaire d'une bourse de recherches au Département de Géologie du *Rice Institute*, à Houston, dans le Texas.

S. K. RUNCORN
M.A., Ph.D., F.Inst.P.,

Naquit en 1922 et fit ses études à l'Université de Cambridge. De 1943 à 1956 il effectue des recherches sur le radar pour le compte du gouvernement britannique. Il va ensuite enseigner la physique à l'Université de Manchester, où il s'intéresse au problème du champ magnétique terrestre, qu'il étudie encore. De 1948 à 1955 il est chargé de cours à *Gonville and Caius College*, Cambridge, et en 1949 devient Directeur-adjoint de recherches au Département de Géodésie et de Géophysique de cette Université. En 1952 et 53 il exécute des travaux de recherche à l'Institut de Géophysique de l'Université de Californie, à Los Angelès. Il est maintenant Professeur de Physique et Directeur du Département de Physique à l'Université de Durham.

H. C. KING
M.Sc., Ph.D.,

Naquit à Londres en 1915 et fit ses études à l'Université de la ville. Il enseigna pendant sept ans l'optique ophtalmologique au *Northampton College of Advanced Technology*, Londres et est maintenant Maître de conférences délégué au Planétarium de Londres. Il a écrit abondamment sur l'optique, les planétaires et l'histoire de la science.

V. A. AMBARTSUMYAN

Naquit en 1908. Il est Président de l'Académie des Sciences d'Arménie et membre de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. En 1945 fut nommé directeur de l'Observatoire de Byurakan près d'Erevan en Arménie et, en 1946 et 1950, reçut un prix Staline pour ses travaux sur la dispersion de la lumière dans les atmosphères nuageuses et sur les groupements stellaires. Il devint vice-président de l'Union Astronomique Internationale en 1948. Il a fait paraître de nombreux travaux sur les propriétés des nébuleuses, la dynamique des systèmes stellaires et la structure des étoiles.